

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

GIOVANI FREIRE AZEREDO

**CONTRIBUIÇÃO PARA INSERÇÃO CONTROLADA DE  
CAPACITORES NA DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA**

VITÓRIA

2009

GIOVANI FREIRE AZEREDO

**CONTRIBUIÇÃO PARA INSERÇÃO CONTROLADA DE  
CAPACITORES NA DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica, na área de concentração em Automação.

Orientador:  
Prof. Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti

VITÓRIA  
2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

A993c Azeredo, Giovani Freire, 1979-  
Contribuição para inserção controlada de capacitores na  
distribuição secundária / Giovani Freire Azeredo. – 2009.  
129 f. : il.

Orientador: Domingos Sávio Lyrio Simonetti.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito  
Santo, Centro Tecnológico.

1. Energia elétrica - Distribuição - Baixa tensão. 2. Sistemas  
de energia elétrica – Controle. 3. Energia elétrica – Qualidade.  
4. Filtros elétricos de resistência-capacitância. 5. Análise  
harmônica. I. Simonetti, Domingos Sávio Lyrio. II. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 621.3

---

**GIOVANI FREIRE AZEREDO**

**CONTRIBUIÇÃO PARA INSERÇÃO CONTROLADA DE  
CAPACITORES NA DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA**

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Elétrica - Automação.

Aprovada em 09 de dezembro de 2009.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Domingos Sávio Lyrio Simonetti - Orientador**

**Universidade Federal do Espírito Santo**

---

**Prof. Dr. Paulo José Mello Menegáz**

**Universidade Federal do Espírito Santo**

---

**Prof. Dr. Márcio Almeida Có**

**Instituto Federal do Espírito Santo**

# DEDICATÓRIA

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

# AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter saúde, uma família que sempre me guiou, orientou e permitiu chegar ao curso de mestrado em engenharia elétrica. Porque dEle, por Ele, para Ele são todas as coisas

Ao meu orientador professor Domingos Sávio Lyrio Simonetti, pela orientação no desenvolvimento deste trabalho, auxílio na produção de artigos científicos e principalmente por sua compreensão.

Aos professores do PPGEE da Universidade Federal do Espírito Santo pela oportunidade do curso de mestrado.

Aos meus pais Aristides e Altimira, por todo o carinho da minha criação, orientação e educação até os dias de hoje. Muito obrigado!!! Essa vitória é de vocês.

A Greice, minha amada esposa, pelo amor, compreensão, apoio e carinho durante toda etapa de concretização de mais esse sonho.

Aos colegas do curso de mestrado em engenharia elétrica, principalmente aos colegas do LEPAC pela convivência, troca de conhecimento e aprendizado.

Aos amigos do IFES – Campus Cachoeiro de Itapemirim, pelo apoio e motivação no desenvolvimento do término deste trabalho.

Ao Engenheiro Edmundo Ramos, que foi um dos maiores incentivadores do início desse curso.

# RESUMO

Este trabalho apresenta uma rotina de cálculo para suporte à escolha, na distribuição secundária, do poste (ou conexão equivalente) em que capacitores são inseridos / removidos de forma discreta para controle da tensão de fase. A abordagem de análise da tensão em cada poste para várias situações de carregamento é apresentada, bem como a análise de ganho de tensão através da inserção discreta de capacitores. Também é realizada análise de sensibilidade a harmônicos de tensão e de corrente de carga. Uma implementação em ambiente MATLAB é apresentada, com a análise de algumas situações para verificação da proposta. Os resultados mostram a utilidade do algoritmo desenvolvido.

*Palavras-chave* — Capacitores, Conformidade, Controle de Tensão, Distribuição Secundária, Qualidade de energia.

# ABSTRACT

This work discusses a computation routine to select the poles in a distribution network in which the capacitor banks will be inserted or removed, in a discrete way, in order to control the secondary phase voltage. The approach to analyze each pole voltage for several loading conditions is discussed, as well as the voltage gains obtained with the discrete capacitor connections. It is also analyzed the sensitivity to voltage harmonics and load current. A MATLAB implementation is presented, with the analysis for some specific condition in order to validate the proposed routine. The results demonstrate the usefulness of the developed algorithm.

*Keywords* – Capacitors, Conformity, Voltage control, Secondary Distribution, Power Quality.



# LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 – Circuito equivalente de uma rede elétrica de distribuição genérica com k postes.....	24
Fig. 2 – Impedâncias equivalentes em uma rede elétrica de distribuição com 10 postes e alocação do banco no último poste. ....	28
Fig. 3 – Circuito equivalente simplificado da rede de distribuição visto pela fonte. ....	29
Fig. 4 – Circuito equivalente simplificado da rede de distribuição visto pelo poste um. ....	30
Fig. 5 – Circuito equivalente simplificado da rede de distribuição visto pelo poste dois. ....	31
Fig. 6 – Impedância de correção harmônica. ....	35
Fig. 7 – Impedância de correção harmônica em paralelo com Impedância vista do poste K até a fonte de geração. ....	37
Fig. 8 – Circuito harmônico equivalente visto do poste genérico n para a frequência do harmônico de ordem h. ....	41
Fig. 9 – Fluxograma do processo de correção de tensão por inserção de capacitores. ....	48
Fig. 10 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1233 $\mu\text{F}$ .....	55
Fig. 11 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1644 $\mu\text{F}$ .....	56
Fig. 12 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 3699 $\mu\text{F}$ .....	58
Fig. 13 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1644 $\mu\text{F}$ numa rede mista com cabo 4/0 e multiplexado. ....	59
Fig. 14 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga no início da linha carga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1233 $\mu\text{F}$ . ....	60
Fig. 15 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga no final da linha carga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1644 $\mu\text{F}$ .....	61

<b>Fig. 16 – Análise da Sensibilidade a harmônicos de tensão para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1233 <math>\mu</math>F.</b>	<b>63</b>
<b>Fig. 17 – Análise da Sensibilidade a harmônicos de tensão para sobrecarga 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1918 <math>\mu</math>F.</b>	<b>64</b>
<b>Fig. 18 – Análise dos harmônicos de tensão para carga 40% no transformador e Fator de Potência de 0,77 com inserção de 959 <math>\mu</math>F.</b>	<b>65</b>
<b>Fig. 19 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,87 com inserção máxima de 1918 <math>\mu</math>F.</b>	<b>67</b>
<b>Fig. 20 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,81 com inserção máxima de 1918 <math>\mu</math>F.</b>	<b>68</b>
<b>Fig. 21 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,95 com inserção máxima de 1918 <math>\mu</math>F.</b>	<b>69</b>
<b>Fig. 22 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para o poste 06 com inserção máxima de 1918 <math>\mu</math>F.</b>	<b>70</b>
<b>Fig. A2.1 – Perfil de Tensão ao longo de 7 postes para 1,0 pu de potência e fp = 0,87, sem inserção de capacitores.</b>	<b>124</b>
<b>Fig. A2.2 – Perfil de tensão ao longo de 7 postes para 1,0 pu de potência e fp = 0,87, com inserção de capacitores.</b>	<b>124</b>
<b>Fig. A2.3 – Perfil de tensão com inserção de banco de capacitores extra após correção inicial ao longo de 7 postes para 1,0 pu de potência e fp = 0,87.</b>	<b>125</b>
<b>Fig. A2.4 – Tensão de terceiro harmônico para carga 1,0 pu de potência e fp = 0,89 ao longo de 7 postes , sem inserção de capacitores.</b>	<b>125</b>
<b>Fig. A2.5 – Tensão de terceiro harmônico para carga 1,0 pu de potência e fp = 0,89 ao longo de 7 postes, com inserção de capacitores.</b>	<b>126</b>
<b>Fig. A2.6 – Sensibilidade a harmônicos de tensão carga para carga 1,0 pu de potência e fp = 0,89 ao longo de 7 postes.</b>	<b>126</b>
<b>Fig. A2.7 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para o poste 7 e Fator de Potência de 0,93.</b>	<b>127</b>
<b>Fig. A2.8 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para o poste 7.</b>	<b>127</b>

# LISTA DE TABELAS

Tabela I – Tensão nominal igual ou inferior a 1kV .....	20
Tabela II – Dados do circuito elétrico da rede de distribuição analisada.....	53
Tabela III – Representação das linhas da Figura 10 .....	55
Tabela IV – Representação das linhas da Figura 11.....	57
Tabela V – Representação das linhas da figura 12, 13, 14 e 15.....	58
Tabela VI – Representação das linhas das figuras 16, 17 e 18 .....	62
Tabela VII – Representação das figuras 19 a 22 .....	66

# LISTA DE ABREVIACÕES OU SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta tensão
BT	Baixa tensão
C	Capacitância do banco de capacitores
$C_{base}$	Capacitância base do banco de capacitores
f	Frequência fundamental da rede elétrica
h	Ordem da frequência da harmônica
H/km	Henry por quilômetro
$I_b$	Corrente base
$I_H$	Corrente que circula na impedância $Z_H$
$I_h$	Corrente harmônica de ordem h
$I_I$	Corrente que circula na impedância $Z_I$
$I_K$	Corrente que circula na impedância $Z_k$
$I_L$	Corrente que circula na impedância $Z_L$
$I_{m, m=1 \text{ a } 10}$	Corrente total da carga ligada à rede no poste m
$I_T$	Corrente total da rede de distribuição
$G_{Vh, posteK}$	Sensibilidade a harmônicos de corrente no próprio poste com correção capacitiva
kVA	Kilo Volt Ampére
l	Distância da fonte de alimentação até o poste onde está localizado o

banco de capacitores em km.

$L_{\text{corre}}$	Indutância de correção harmônica
$L_f$	Indutância equivalente da geração até a entrada do transformador de distribuição
$L_{li}$	Indutância dos condutores elétricos entre dois postes
$L_m$	Indutância de magnetização do transformador de distribuição
$L_{t1}$	Indutância do primário do transformador de distribuição referida ao secundário
$L_{t2}$	Indutância do secundário do transformador de distribuição
nF	Nano faraday
$P_n$	Potência ativa por fase das cargas ligadas à rede no poste n
pu	Por unidade
$Q_C$	Potência reativa do banco de capacitores
$Q_n$	Potência reativa por fase consumida pelas cargas ligadas à rede no poste genérico n
$R_f$	Resistência equivalente da geração até a entrada do transformador de distribuição
$R_{li}$	Resistência dos condutores elétricos entre dois postes
$R_m$	Resistência de magnetização do transformador de distribuição
$R_n$	Resistência elétrica equivalente das cargas ligadas à rede no poste n
$R_{t1}$	Resistência do primário do transformador de distribuição referida ao secundário
$R_{t2}$	Resistência do secundário do transformador de distribuição

$S_b$	Potência aparente base
THD	Taxa de distorção harmônica (“Total Harmonic Distortion”)
$V_{CN}$	Tensão nominal do banco de capacitores
$V_f$	Tensão eficaz de alimentação da rede de distribuição
$V_m, m = 1 \text{ a } 10$	Tensão eficaz fase neutro aplicada à carga ligada ao poste m
$V_n$	Tensão eficaz fase neutro aplicada às cargas ligadas ao poste genérico n
$X_C$	Reatância capacitiva do banco de capacitores
$X_{cap}$	Reatância do banco de capacitores a ser conectado à rede no último poste
$X_{Ch}$	Reatância na frequência da harmônica de ordem h para a uma carga capacitiva
$X_L$	Reatância indutiva a ser percorrida pela corrente $I_C$ (da fonte até o poste de conexão do banco de capacitores)
$X_{Lh}$	Reatância na frequência da harmônica de ordem h para uma carga indutiva
$X_{In}$	Reatância indutiva equivalente das cargas ligadas à rede no poste genérico n
$Z_b$	Impedância base
$Z_{cap}$	Impedância do banco de capacitores a ser conectado à rede no último poste
$Z_{corre}$	Impedância de correção harmônica
$Z_f$	Impedância equivalente da geração até a entrada do transformador de distribuição

$Z_{i, i = A \text{ a } I}$	Impedância equivalente do ponto i até a fonte
$Z_{in}$	Impedância de entrada da rede de distribuição (fonte e transformador)
$Z_{innh, n = 1 \text{ a } 10}$	Impedância vista do poste genérico n até a fonte de alimentação para a frequência da harmônica de ordem h
$Z_{j, j = J \text{ a } S}$	Impedâncias equivalentes dos pontos H, I, J, K, L, M até o último poste
$Z_{li}$	Impedância dos condutores elétricos entre dois postes
$Z_{locnh, n = 1 \text{ a } 10}$	Impedância equivalente das cargas do poste genérico n para a frequência da harmônica de ordem h
$Z_{ii}$	Impedância inicial vista do ponto i até a fonte
$Z_m$	Indutância de magnetização do transformador de distribuição
$Z_n$	Impedância equivalente das cargas ligadas à rede no poste n
$Z_{outnh, n = 1 \text{ a } 10}$	Impedância vista do poste genérico n até o final da rede de distribuição para a frequência da harmônica de ordem h
$Z_T$	Impedância total vista pela fonte de alimentação
$\Delta V\%$	Incremento percentual de tensão eficaz no poste onde está inserido o banco de capacitores.
$\Omega/\text{km}$	Ohm por quilometro

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1. ESCOPO DO TRABALHO.....	23
<b>2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....</b>	<b>24</b>
2.1. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA .....	24
2.2. CÁLCULO DAS CORRENTES E TENSÕES ELÉTRICAS .....	29
2.3. MODELO COM BANCO DE CAPACITORES.....	32
2.4. ANÁLISE DA SENSIBILIDADE A HARMÔNICOS .....	33
2.4.1. Sensibilidade a Harmônicos na Tensão.....	34
2.4.2. Sensibilidade a Harmônicos de Corrente .....	40
2.5. ANÁLISE COM CABOS MULTIPLEXADOS E COM ALIMENTADOR BIPARTIDO.....	42
<b>3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA .....</b>	<b>44</b>
3.1. DADOS DE ENTRADA .....	44
3.2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA .....	45
3.2.1. Cálculo das impedâncias de carga em cada poste .....	45
3.2.2. Cálculo das tensões e correntes em cada poste .....	46
3.2.3. Cálculo dos capacitores para correção da tensão eficaz.....	46
3.2.4. Algoritmo de análise harmônica .....	49
3.3. DADOS DE SAÍDA .....	50
3.3.1. Resultados de estudo do valor fundamental da tensão .....	50
3.3.2. Resultados de estudo de sensibilidade a harmônicos na tensão .....	50
3.3.3. Resultados de estudo de sensibilidade a harmônicos na corrente de carga.....	51
3.4. COMENTÁRIOS.....	51
<b>4. RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>52</b>
4.1. MODELO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO IMPLEMENTADO EM MATLAB .....	52
4.2. ANÁLISE DA TENSÃO FUNDAMENTAL .....	54
4.3. SENSIBILIDADE A HARMÔNICOS NA TENSÃO .....	62
4.4. SENSIBILIDADE A HARMÔNICOS DA CORRENTE DE CARGA.....	66
4.5. CONCLUSÕES .....	70
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>72</b>
5.1. CONCLUSÕES .....	72
5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS .....	73
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE 1 – PROGRAMA EM MATLAB .....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE 2 – MÉTODO PARA VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO 1 – DADOS TÉCNICOS DE CABOS DE ALMA DE AÇO .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO 2 - DADOS TÉCNICOS DE CABOS MULTIPLEXADOS.....</b>	<b>129</b>



# 1. INTRODUÇÃO

A sociedade moderna tem como forte característica o alto consumo energético seja no setor residencial, comercial/serviços ou industrial. Um forte componente da matriz energética é a energia elétrica.

A eletricidade pode ser obtida através de diversos meios de conversão (hidráulica, térmica, eólica, solar etc.) e é conduzida aos consumidores em diferentes níveis de tensão sendo por corrente contínua ou alternada.

Um grande problema no processo de geração é que normalmente os recursos e locais para essa etapa ficam distantes dos consumidores, o que originou a necessidade de transmiti-la para sua devida utilização. A etapa de transmissão interliga a geração ao sistema de distribuição que fica sobre as responsabilidades das concessionárias de energia que são, no Brasil, regulamentadas pela agência nacional de energia elétrica, ANEEL.

Após ser transmitida, a níveis altos de tensão, até um ponto próximo aos locais de consumo, a energia elétrica necessita ser distribuída a seus diversos consumidores.

A etapa de distribuição pode ser construída de duas formas: radial e anel. O sistema radial distribui a energia ao consumidor através de um único caminho, quando colocamos um caminho alternativo ou paralelo o sistema é considerado anel. O esquema radial é o mais utilizado no sistema elétrico brasileiro quanto se trata a distribuição, pois o projeto de proteção e operação para uma malha em anel tem seu custo muito extensivo [1]. O sistema de distribuição deve visar:

Segurança – Garantia de proteção e operação;

Conformidade – Garantia de níveis de tensão dentro dos padrões recomendáveis;

Continuidade – Garantia de fornecimento de energia sem interrupção e falhas.

O crescente aumento da demanda tem tornado o controle dos níveis de potência reativa cada vez mais importante a fim de contornar problemas de qualidade do fornecimento energia elétrica, tais como aumento das perdas ativas, quedas de tensão, e tensões fora dos limites regulamentados. No entanto, o crescimento das cargas longe dos centros geradores, as

extensas linhas e as perdas decorrentes dos cabos resultam em variações de tensão nas barras, e assim comprometem a qualidade da energia elétrica fornecida. Além disso, o alto nível de potência reativa indutiva demandada nos sistemas de distribuição também causa os problemas já conhecidos tanto no próprio sistema de distribuição, como no sistema de transmissão, ou seja, aumento das perdas e da queda de tensão, causando dificuldades no controle da tensão. Uma solução bastante difundida para mitigar o problema é a instalação de bancos de capacitores (BCs) que visam não só a redução das perdas e melhoria nos perfis de tensão, mas também algumas outras vantagens enunciadas abaixo:

- Controle do fluxo de potência;
- Melhoria da estabilidade do sistema;
- Correção de fator de potência;
- Redução da componente reativa de corrente do circuito com consequentes reduções de perdas de potência ativa  $RI^2$  e perdas de potência reativa  $X.I^2$  no sistema;
- Melhoria do nível de tensão no ponto de consumo;
- Melhoria da regulação de tensão se a unidade capacitiva for apropriadamente chaveada;
- Aumento do fator de potência das fontes geradoras;
- Diminuição da demanda reativa das fontes geradoras e das linhas possibilitando alívio para uma condição de carga pesada ou possibilidade de crescimento adicional de carga;
- Redução da demanda de reativos onde a carga é atendida;
- Redução de investimentos em equipamentos por MW atendido.

Devido à complexidade da rede e dos alimentadores o melhor ponto de operação normalmente não é alcançado e a compensação fica subutilizada. Dessa forma, torna-se necessário desenvolver ferramentas para dar suporte à tomada de decisões do planejador para

que ele possa fazer a aplicação dos recursos destinados à expansão e operação do sistema de distribuição, ou mesmo a recapacitação do sistema existente.

O estudo aqui apresentado visa à melhoria do perfil de tensão na distribuição secundária atuando no próprio sistema secundário.

Para corrigir problemas de subtensão na rede secundária de distribuição devemos ter conhecimento das faixas adequadas de valores definidas por normas para então saber em quais faixas de valores de tensão deve-se trabalhar. Com isso, de acordo com a Resolução ANEEL de Nº 505/2001 [2], as tensões de atendimento para consumidores atendidos com Tensão nominal igual ou inferior a 1 kV são classificadas conforme a Tabela 1 a seguir, em que se aplicam as seguintes definições:

- Tensão de Atendimento (TA): valor eficaz de tensão no ponto de entrega ou de conexão, obtido por meio de medição. A TA pode ser classificada em adequada, precária ou crítica, de acordo com a leitura efetuada, expressa em volts ou quilovolts;
- Tensão Contratada (TC): valor eficaz de tensão estabelecido em contrato, expresso em volts ou quilovolts. Para unidades consumidoras atendidas em tensão superior a 1 kV, a tensão contratada, no ponto de entrega ou de conexão, deve situar-se entre 95% (noventa e cinco por cento) e 105% (cento e cinco por cento) da tensão nominal do sistema elétrico; Para unidades consumidoras atendidas em tensão nominal de operação igual ou inferior a 1 kV, a tensão a ser contratada com a concessionária deve ser a tensão nominal do sistema no ponto de entrega.
- Tensão de Leitura (TL): valor eficaz de tensão, integralizado a cada 10 (dez) minutos, obtido de medição por meio de equipamentos apropriados, expresso em volts ou quilovolts;
- Tensão Nominal (TN): valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é designado, expresso em volts ou quilovolts.

**Tabela I – Tensão nominal igual ou inferior a 1kV**

TENSÕES NOMINAIS PADRONIZADAS				
Tensão Nominal (TN)		Faixa de Valores Adequados das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN	Faixa de Valores Precários das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN	Faixa de Valores Críticos das Tensões de Leitura (TL) em relação à TN
Ligação	Volts			
Trifásica	220/127	$(201 \leq TL \leq 231)/$ $(116 \leq TL \leq 133)$	$(189 \leq TL < 201 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)/$ $(109 \leq TL < 116 \text{ ou } 133 < TL \leq 140)$	$(TL < 189 \text{ ou } TL > 233)/$ $(TL < 109 \text{ ou } TL > 140)$
	380/220	$(348 \leq TL \leq 396)/$ $(201 \leq TL \leq 231)$	$(327 \leq TL < 348 \text{ ou } 396 < TL \leq 403)/$ $(189 \leq TL < 201 \text{ ou } 231 < TL \leq 233)$	$(TL < 327 \text{ ou } TL > 403)/$ $(TL < 189 \text{ ou } TL > 233)$
Monofásica	254/127	$(232 \leq TL \leq 264)/$ $(116 \leq TL \leq 132)$	$(220 \leq TL < 232 \text{ ou } 264 < TL \leq 269)/$ $(109 \leq TL < 116 \text{ ou } 132 < TL \leq 140)$	$(TL < 220 \text{ ou } TL > 269)/$ $(TL < 109 \text{ ou } TL > 140)$
	440/220	$(402 \leq TL \leq 458)/$ $(201 \leq TL \leq 229)$	$(380 \leq TL < 402 \text{ ou } 458 < TL \leq 466)/$ $(189 \leq TL < 201 \text{ ou } 229 < TL \leq 233)$	$(TL < 380 \text{ ou } TL > 466)/$ $(TL < 189 \text{ ou } TL > 233)$

Assim, com as normas conhecidas a faixa de tensão que se pretende obter neste trabalho será entre 116V e 133V, tensão fase-neutro.

Uma maneira de se melhorar o perfil de tensão nas redes de distribuição que apresentam tensões nominais menores que os padronizados é através da instalação de banco de capacitores, sendo que existem outras formas como redimensionamento de condutores e transformadores e, em especial, o uso de reguladores de tensão. Assim, esse trabalho se propõe à análise da implementação de bancos de capacitores e suas localizações ao longo dos alimentadores de distribuição secundária (baixa tensão).

O método mais comum para alocação e dimensionamento de capacitores no primário é a regra dos “2/3”, que proporciona redução ótima de perdas em alimentadores com distribuição uniforme de cargas (aloca-se a 2/3 da distância entre a subestação e o fim da linha

um banco capacitivo de  $2/3$  do reativo total do circuito). Recentemente, técnicas de controle moderno têm sido utilizadas para otimização da localização dos capacitores com redução de perdas [3].

Em sistemas de distribuição secundária, o número de pontos de carga é relativamente pequeno. Em sistemas radiais, é usual que os alimentadores tenham de 5 a 10 postes, com distribuição aleatória das cargas conectadas em cada um. Entretanto, a distribuição de cargas pode ser conhecida a partir da medição do consumo dos diversos clientes. A regra dos  $2/3$ , embora possa melhorar o perfil de tensão, pode não ser a solução mais indicada. Para tais situações desenvolveu-se a rotina aqui apresentada, na qual a tensão nos pontos de conexão (postes) é calculada em diversas situações de carregamento com a verificação da conformidade de tensão.

Estudo anteriormente realizado utilizava a modelagem de um sistema de distribuição secundária utilizando uma rede formada pela distribuição de cinco a sete postes onde se considerava a alocação do banco de capacitores no último poste tendo como comparação o seu valor de nível de tensão [4]. Entretanto, alguns aspectos contemplados no referido trabalho são inadequados ao estudo, podendo-se citar:

- i. A correção no final da linha era atendida sem se preocupar com o que ocorre com o nível de tensão ao longo do sistema de distribuição, e em alguns casos verificou-se posteriormente que podia ocorrer da tensão em algum poste intermediário ficar abaixo do estabelecido em norma.
- ii. A distribuição de cargas e fator de potência concentrados em cada poste foram estudados considerando variação aleatória ao longo da análise. Assim, por exemplo, se em um primeiro momento era estudado o transformador com 80% de sua potência nominal e o poste 3 com potência  $S_3$  e  $fp_3$ , no momento seguinte poderia ou não ser mantida a potência do transformador, mas ao poste 3 eram atribuídos outros valores de potência e fator de potência, e assim sucessivamente para diversos valores de potência do transformador. Isso gerava em um mesmo estudo muitas combinações de potência e fator de potência, com alternâncias entre os postes, o que resultava numa análise ampla demais e, por isso mesmo, ineficiente; tornando difícil a possibilidade de uma aproximação dos modelos simulados com a realidade prática do sistema.

iii. A solução sugerida para evitar ressonância harmônica devido à inserção dos capacitores era circuitalmente correta, porém dava origem a uma indutância de valor significativo e pela qual circulariam correntes também significativas (por exemplo, 50 mH/50A). Em termos práticos, tal indutor não é realizável.

iv. Era adotado, ao longo de todo o sistema a ser analisado, apenas um único tipo de bitola, sendo tal procedimento muito limitado na prática.

A proposta agora apresentada contempla diversas melhorias em relação à anteriormente desenvolvida. O estudo é realizado explorando o núcleo de análise da versão anterior, mas agrega os seguintes avanços:

a) A participação da carga concentrada em cada poste em relação à total do alimentador, não mais apresenta variação aleatória como anteriormente, mas sim um valor percentual constante. Por exemplo, se é considerado que o poste 3 atende a consumidores que respondem em conjunto por 10% da potência consumida no alimentador, esta participação vale tanto para uma potência do transformador de 20 % quanto para uma potência de 100% ( $S_{\text{TRANSFORMADOR}} = 100 \% S_{\text{NOMINAL}}$ ). Este valor percentual é fácil de se obter na concessionária de energia, através do consumo mensal de todos os clientes com o ramal de serviço no poste e a soma total do consumo dos postes.

b) Após a inserção do banco de capacitores é feita uma vistoria ao longo de toda linha estudada para que se possa garantir que todos os postes atendem às normas regulamentadoras. Caso contrário, será inserido um valor base de capacitância em paralelo com o banco principal para que os valores passem a se enquadrar nos limites toleráveis;

c) Como, em situações normais nas concessionárias de energia, os sistemas de distribuição secundária utilizam até dez postes para cada transformador, e é comum reduzir o alimentador ao longo da linha para economizar na instalação (pois à medida que se afasta do ramal alimentador a corrente tende a diminuir), a análise foi estendida para até 10 postes, e incorporou-se a opção de usar duas bitolas ao longo do alimentador.

d) Adicionou-se também a opção de usar cabos multiplexados. Eles estão sendo muito utilizados pelas concessionárias de energia devido ao fato de facilitar a distribuição, além de dificultar a incidência de furtos de eletricidade.

e) Incluiu-se uma alternativa à utilização de indutores anti-ressonantes, impraticáveis, com a adoção de um banco de capacitores de maior valor.

## **1.1. ESCOPO DO TRABALHO**

O trabalho faz uma análise da inserção automática de banco de capacitores na rede de distribuição secundária para controle do nível de tensão eficaz e seus possíveis efeitos harmônicos; e está dividido em cinco capítulos conforme descrição abaixo:

O capítulo um apresenta os estudos já elaborados e a proposta de execução do trabalho.

O capítulo dois mostra como foi efetuada a modelagem dos componentes elétricos do sistema, que são: fonte de alimentação, transformador de distribuição, cargas ligadas aos postes, linha de distribuição, bancos de capacitores e o estudo de análise harmônica da linha de distribuição.

O capítulo três mostra como o modelo matemático da rede de distribuição secundária foi implementado em MATLAB, descrevendo passo a passo as implementações.

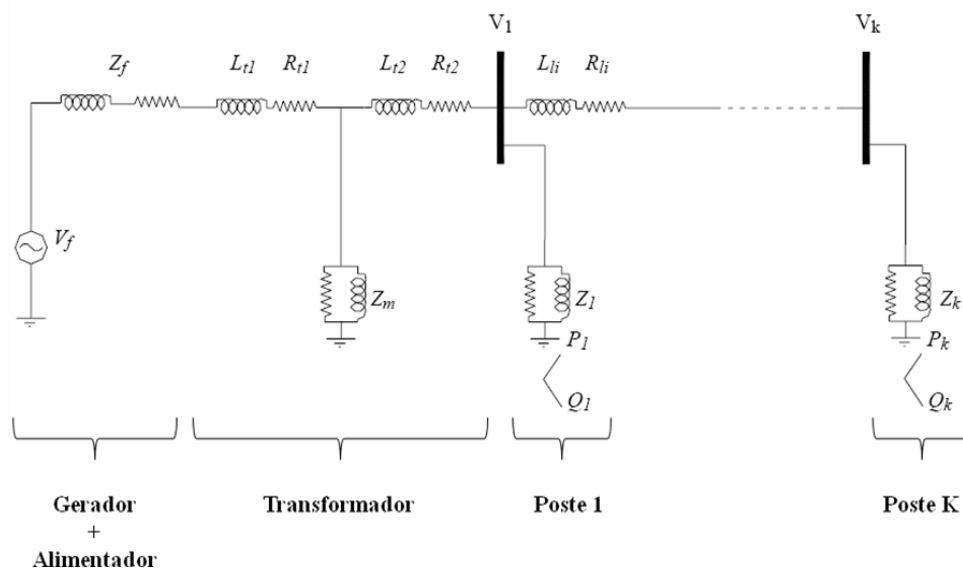
O capítulo quatro contém os resultados de estudos em MATLAB do perfil de tensão eficaz de fornecimento na forma de gráficos sem e com inserção de banco de capacitores com a análise harmônica dos modelos da rede de distribuição para algumas situações possíveis.

O capítulo cinco apresenta as conclusões do trabalho desenvolvido com opiniões e sugestões de novos estudos.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

### 2.1. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA

Nos sistemas de alimentação em CA é usual supor que, num universo com inúmeros consumidores conectados à rede, ocorrerá uma distribuição aproximadamente equilibrada das cargas conectadas às fases, e assim pode-se considerar o sistema equilibrado. Entretanto, a análise de circuitos elétricos trifásicos pelo equivalente por fase, apesar de útil em diversas situações, é limitada: em algum momento da operação do sistema, alguma fase pode ser submetida a um carregamento diferente das outras. Isso se traduz em tensões eficazes diferentes em cada fase que, eventualmente, pode extrapolar os limites estabelecidos em norma, especialmente nas horas-ponta. Baseado nisso, o estudo aqui apresentado considera o circuito monofásico, no qual bancos de capacitores sempre serão conectados fase-neutro. A rede de distribuição secundária de baixa tensão (BT) foi representada pelo seu modelo por fase, conforme mostrado na figura 1, considerando o circuito para uma rede com  $k$  postes, sendo cada poste representado como um barramento com tensão fase-neutro e impedância de carga por fase.



**Fig. 1 – Circuito equivalente de uma rede elétrica de distribuição genérica com  $k$  postes.**



$L_{t1}$  – Indutância do enrolamento primário do transformador;

$L_{t2}$  – Indutância do enrolamento secundário do transformador;

$L_{li}$  – Indutância do condutor entre dois postes;

$V_f$  – Tensão da fonte de alimentação

$V_k$  – Tensão fase neutro no poste k

$P_k$  – Potência ativa no poste k

$Q_k$  – Potência reativa no poste k

$R_{t1}$  – Resistência de enrolamento primário do transformador;

$R_{t2}$  – Resistência de enrolamento secundário do transformador;

$R_{li}$  – Resistência do condutor entre dois postes;

$Z_f$  - Impedância equivalente da geração até o transformador;

$Z_m$  - Impedância equivalente do ramo magnetizante do transformador;

A rede elétrica à qual o transformador é conectado é representada pela tensão ( $V_f$ ) teórica idealizada nominal (1,0pu) a vazio, e pela impedância de curto-circuito no ponto de conexão (impedância da fonte –  $Z_f$ ). Para análise do circuito secundário, o circuito à montante da impedância secundária do transformador será representado pelo equivalente de Thevenin. A tensão de alimentação do sistema de distribuição será calculada por um circuito divisor de tensão entre a impedância do ramo magnetizante e a impedância equivalente formada pelas resistências e reatâncias da fonte de alimentação e do enrolamento primário do transformador, e a impedância série equivalente pelo paralelo da impedância do ramo magnetizante e da associação série da impedância primária do transformador e a impedância da fonte, como descrito nas equações (1) a (5) e representado na figura 2.

$$Z_{t1} = R_{t1} + j.2.\pi.f.L_{t1} \quad (1)$$

$$X_{lm} = 2.\pi.f.L_m \quad (2)$$

$$Z_m = \frac{R_m.X_{lm}}{R_m + j.X_{lm}} \quad (3)$$

$$Z_{th} = \frac{Z_m.(Z_{t1} + Z_f)}{Z_m + Z_{t1} + Z_f} \quad (4)$$

$$V_{th} = V_f \cdot \left( \frac{Z_m}{Z_f + Z_{lt} + Z_m} \right) \quad (5)$$

f – Frequência da rede de alimentação;

$L_m$  – Indutância de magnetização do transformador;

$R_m$  – Resistência de magnetização do transformador;

$V_{th}$  – Tensão de alimentação do sistema de distribuição.

$X_{lm}$  – Reatância de magnetização do transformador;

$Z_{t1}$  – Impedância do primário do transformador;

$Z_{th}$  – Impedância equivalente da alimentação do sistema de distribuição;

As cargas conectadas em cada poste foram consideradas como sendo de impedância constante e em condições nominais, alimentadas com tensão eficaz nominal fase-neutro. A representação das cargas como sendo de impedância constante é adequada, inclusive tendo sido considerada assim quando do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001. Naquela ocasião, houve orientação do ONS de redução da tensão de alimentação para redução do consumo [5]. Assim, a carga elétrica total conectada em cada poste foi representada como uma indutância em paralelo com uma resistência, ou seja, através da potência ativa e reativa consumida em cada poste, conforme as equações (6)-(8):

$$R_n = \frac{(V_n)^2}{P_n} \quad (6)$$

$$X_{Ln} = \frac{(V_n)^2}{Q_n} \quad (7)$$

$$Z_n = \frac{R_n \cdot j \cdot (X_{Ln})}{R_n + j(X_{Ln})} \quad (8)$$

Onde:

$P_n$  – Potência ativa por fase consumida pelas cargas ligadas à rede no poste genérico n.

$Q_n$  – Potência reativa por fase consumida pelas cargas ligadas à rede no poste genérico n.

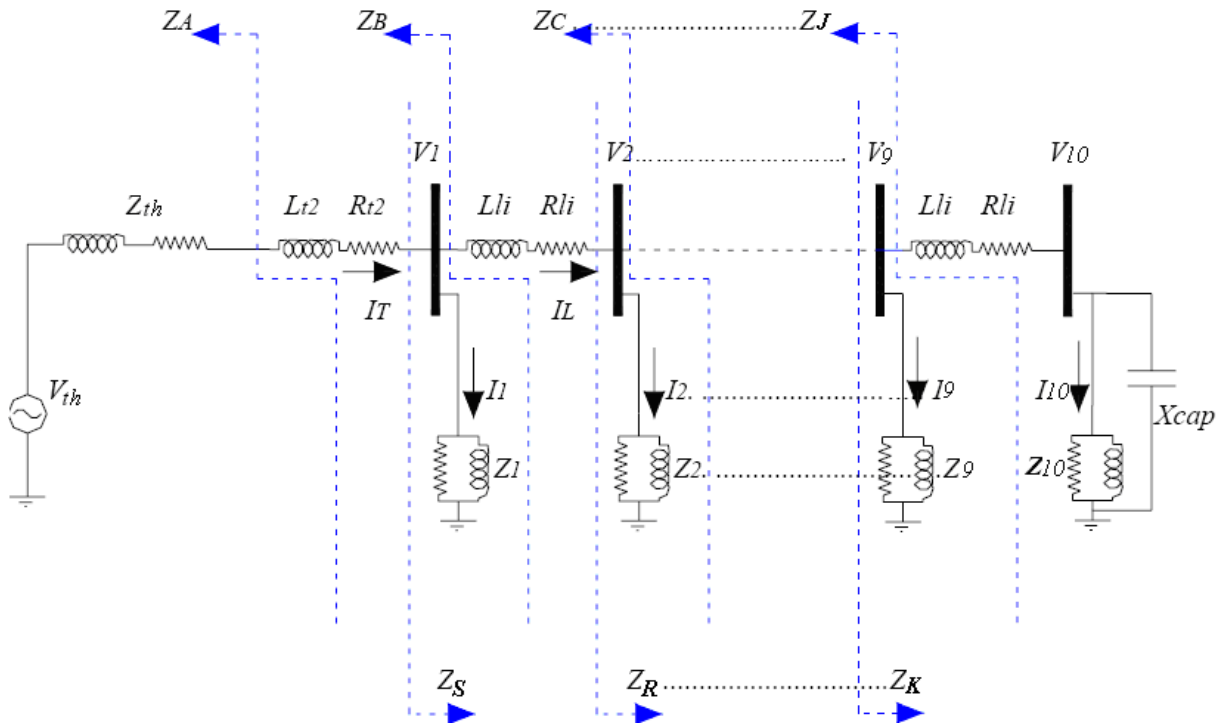
$R_n$  – Resistência elétrica equivalente das cargas ligadas à rede no poste genérico n.

$V_n$  – Tensão fase neutro aplicada às cargas ligadas à rede no poste genérico n.

$X_{Ln}$  – Reatância indutiva equivalente das cargas ligadas à rede no poste genérico n.

$Z_n$  – Impedância equivalente das cargas ligadas à rede no poste genérico n.

Nesta análise, considerou-se que a rede pode ter de cinco a dez postes, pois em média, segundo dados de projetistas de concessionárias de energia elétrica (CPFL e ESCELSA), as redes de distribuição radial têm comprimento de 200 a 360 metros, com uma distância (espaçamento) média entre postes de 40 metros. O circuito da figura 2 indica as impedâncias equivalentes vistas de cada poste em uma rede de distribuição com dez postes, onde:



**Fig. 2 – Impedâncias equivalentes em uma rede elétrica de distribuição com 10 postes e alocação do banco no último poste.**

$Z_{i, i = A a J}$  – Impedância vista do ponto i até a fonte.

$Z_{j, j = K a S}$  – Impedância vista do ponto j até o último poste da rede de distribuição.

$Z_{li} = R_{li} + jX_{li}$  – Impedância dos condutores elétricos entre dois postes

$I_{m, m = 1 a 10}$  – Corrente da carga ligada à rede no poste m.

$I_T$  – Corrente total da rede de distribuição.

$V_{m, m = 1 a 10}$  – Tensão eficaz fase-neutro aplicada à carga ligada ao poste m.

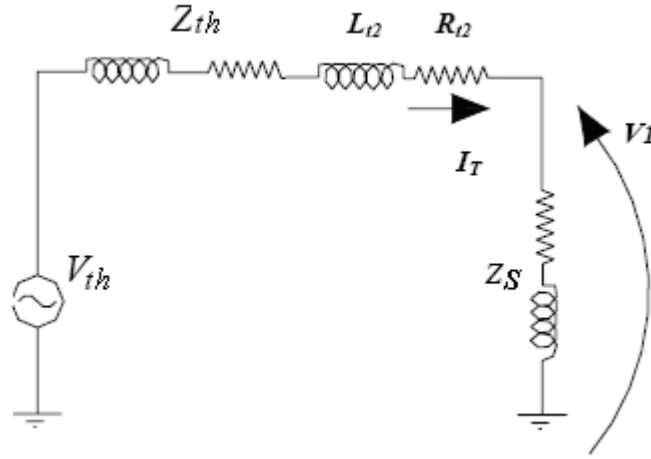
$X_{cap}$  – Reatância do banco de capacitores a ser conectado à rede (no exemplo da figura, poste 10).

As impedâncias são calculadas a partir do circuito da figura 2 usando-se as teorias tradicionais de circuitos elétricos. A impedância vista de um poste em direção ao final do alimentador vale:

$$Z_j = \frac{(Z_m + Z_{li}) \cdot Z_{m-1}}{Z_m + Z_{li} + Z_{m-1}} \quad (9)$$

## 2.2. CÁLCULO DAS CORRENTES E TENSÕES ELÉTRICAS

As tensões nos postes são calculadas a partir do primeiro poste, considerando que a impedância total alimentada no poste em análise é a soma da representação da carga local mais a carga do resto do alimentador vista a partir do poste (que é o acumulado do cabo mais carga dos outros postes),  $Z_Q$ . Assim, sendo  $Z_{in}$  a impedância vista do poste 1 para a rede, tem-se:



**Fig. 3 – Circuito equivalente simplificado da rede de distribuição visto pela fonte.**

$$Z_{in} = Z_{th} + Z_{t2} \quad (10)$$

$$Z_T = Z_{in} + Z_S \quad (11)$$

$$I_T = \frac{V_{th}}{Z_T} \quad (12)$$

$$V_1 = Z_S \cdot I_T \quad (13)$$

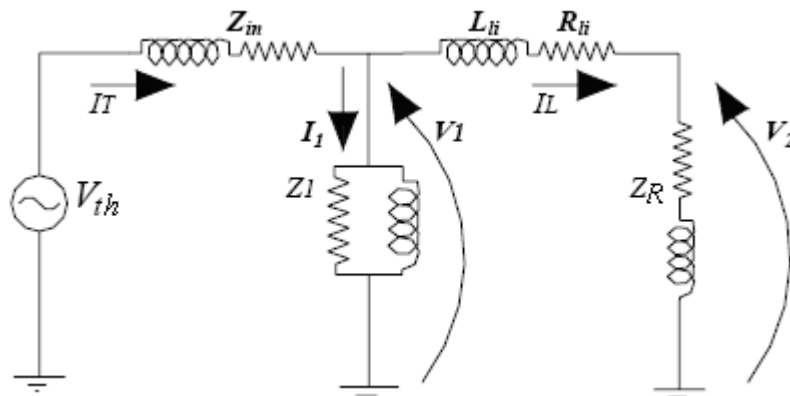
$I_T$  – Corrente total vista do poste 1

$V_1$  – Tensão equivalente no poste 1

$Z_{in}$  – Impedância de entrada da rede de distribuição (fonte e transformador).

$Z_T$  – Impedância total vista pela fonte de alimentação.

Para o poste 2, pode-se usar o circuito equivalente simplificado da rede de distribuição visto pelo poste um como mostra a figura .



**Fig. 4 – Circuito equivalente simplificado da rede de distribuição visto pelo poste um.**

Através deste circuito pode-se calcular a corrente na carga um, a corrente  $I_L$  e a tensão no poste dois, conforme as equações (14)-(16):

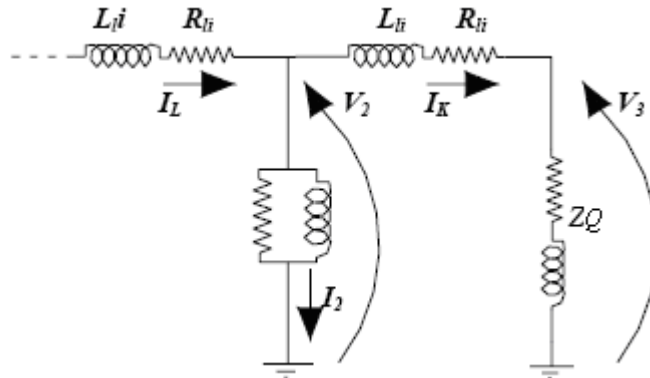
$$I_1 = \frac{V_1}{Z_1} \quad (14)$$

$$I_L = I_T - I_1 \quad (15)$$

$$V_2 = Z_R \cdot I_L \quad (16)$$

Da mesma forma pode-se representar o circuito da figura 4 de maneira simplificada, substituindo toda a linha a partir do poste 3 pela sua impedância equivalente e mostrando

somente a parte final do circuito, conforme a figura 5, tendo uma tensão  $V_3$  aplicada sobre a impedância vista do poste três até o último poste da rede de distribuição.



**Fig. 5 – Circuito equivalente simplificado da rede de distribuição visto pelo poste dois.**

Através deste circuito pode-se calcular a corrente na carga um, a corrente  $I_L$  e a tensão no poste dois, conforme as equações (17)-(19):

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_2} \quad (17)$$

$$I_K = I_L - I_2 \quad (18)$$

$$V_3 = Z_Q \cdot I_K \quad (19)$$

Adota-se o mesmo procedimento para os outros postes, e assim obtém-se o perfil de tensão ao longo do alimentador. No caso de termos menos que dez postes na rede de distribuição secundária, pode-se manter os mesmos cálculos acima, bastando considerar o valor das impedâncias de carga dos postes não utilizados igual a infinito. Neste caso a corrente de carga dos respectivos postes será nula e a tensão será igual à do último existente. Este foi um procedimento bastante útil empregado para simplificar a solução computacional.

## 2.3. MODELO COM BANCO DE CAPACITORES

O banco de capacitores a ser instalado na rede de distribuição para melhoria do nível de tensão eficaz é formado por um conjunto de capacitores em paralelo, cuja capacitância equivalente, dada pela soma das capacitâncias destes capacitores, é representada como sendo um único capacitor com reatância capacitiva  $X_{cap}$ . Sabe-se que a inserção de capacitores em um ponto da rede proporciona um ganho de tensão eficaz percentual que pode ser calculado através da seguinte equação[6]:

$$\Delta V\% = \frac{Q_c \cdot X \cdot L}{10 \cdot (kV)^2} \quad (20)$$

Onde:

$\Delta V\%$  – Incremento percentual de tensão eficaz no poste onde está inserido o banco de capacitores.

$Q_c$  – Potência reativa do banco de capacitores.

$kV$  – Tensão eficaz fase neutro do poste onde está inserido o banco de capacitores.

$X$  – Reatância indutiva da fonte de alimentação até o poste onde está localizado o banco de capacitores em  $\Omega/\text{km}$ .

$L$  – Distância da fonte de alimentação até o poste onde está localizado o banco de capacitores em km

No algoritmo estudado, ao analisar a inserção de capacitores em um poste  $i$ , a impedância do poste será dada pela associação em paralelo da impedância de carga deste poste ( $Z_Q$ ) e a impedância total do banco de capacitores ( $X_{cap}$ ).

$$X_{cap} = \frac{-1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{cap}} \quad (21)$$



$$Z_{Qcap} = \frac{Z_Q \cdot j \cdot X_{cap}}{Z_Q + j \cdot X_{cap}} \quad (22)$$

A inserção de capacitores é controlada pela tensão do último poste, que na condição do alimentador sem capacitores é o que apresenta o pior valor de tensão. Sempre que a tensão do último poste cai abaixo de um valor de segurança em relação aos níveis estabelecidos na Resolução 505/2001 da ANEEL, um degrau de capacitores é inserido no poste sob análise. Após varrer todas as combinações de carregamento e de postes, faz-se uma análise dos resultados para seleção do poste de inserção dos capacitores bem como dos níveis de tensão para habilitação da inserção, já que se assume que o comando será feito por comparação com a tensão do mesmo poste em que o banco estará conectado [4]. Após o final da inserção dos reativos capacitivos, é verificado ao longo do sistema de distribuição analisado se a tensão em algum poste, para a pior condição, ficou abaixo do limite da norma. Caso positivo, será feita uma última inserção de um conjunto base Cbase junto ao banco no local de sua instalação.

## 2.4. ANÁLISE DA SENSIBILIDADE A HARMÔNICOS

A inserção de capacitores em qualquer instalação seja ela de distribuição ou industrial pode gerar ressonância, principalmente com a presença de harmônicas no sistema, geradas por cargas que utilizam dispositivos não lineares, acarretando sobrecarga tanto nos transformadores como nos bancos de capacitores. Os transformadores na configuração Delta/Estrela também geram harmônicas de corrente de 3ª ordem [7]. Assim sendo, é necessário que seja feita uma análise do impacto da instalação dos bancos de capacitores na rede de distribuição do ponto de vista dos harmônicos que serão incrementados.

O THD de tensão caracteriza a deformação da onda de tensão. O Valor do THDv medido e os fenômenos observados em uma instalação podem ser respectivamente:

- Um valor de THDv inferior à 5% é considerado normal.
- Um valor de THDv compreendido entre 5 e 8% revela uma poluição harmônica significativa. Pode acontecer algum mau funcionamento no sistema e necessitar a atenuação dessa interferência.

- Um valor de THDv superior a 8% revela uma poluição harmônica considerável. Problemas no funcionamento são prováveis. Uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação serão necessárias.

O THD de corrente caracteriza a deformação da onda de corrente. A procura do poluidor se efetua o medindo na entrada e em cada uma das saídas de diferentes circuitos, a fim de se orientar em direção ao perturbador. Valor do THDi medido e fenômenos observados em uma instalação podem ser respectivamente:

- Um valor de THDi inferior a 10% é considerado como normal.
- Um valor de THDi compreendido entre 10 e 50% revela uma poluição harmônica significativa. Nestes casos existe risco de aquecimento, o que implica num sobredimensionamento dos cabos e das fontes.
- Um valor de THDi superior a 50% revela uma poluição harmônica considerável. Problemas de funcionamento são prováveis. Uma análise aprofundada e a colocação de dispositivos de atenuação são necessárias [8].

Sistemas com harmônicos, dependendo do conteúdo real de distorções e das características do banco de capacitores, necessitam de filtros adequados com o objetivo de evitar que as distorções presentes na rede afetem os capacitores e os equipamentos.

A solução imediata para evitar que os harmônicos de corrente provocadas por cargas não lineares circulem pela rede é produzir um caminho local para a circulação de harmônicos. Tal efeito pode ser obtido através da instalação de filtros passivos em paralelo com a carga, sintonizados nas frequências harmônicas de interesse. Entretanto, tal análise não foi objetivo deste trabalho.

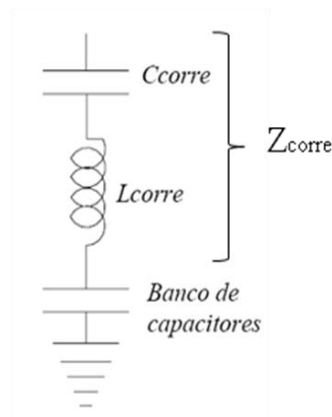
Foi previsto, na análise, um estudo do impacto dos harmônicos com o intuito de evitar amplificações harmônicas em função da inserção ou retirada de capacitores do sistema, tanto em resposta à harmônicos na tensão quanto à correntes harmônicas devidas à presença de cargas não lineares.

#### **2.4.1. Sensibilidade a Harmônicos na Tensão**

Na rede de distribuição podem ocorrer problemas de amplificação harmônica devidos à ressonância entre os capacitores inseridos e as indutâncias da rede e do transformador. É necessário realizar uma análise da sensibilidade do alimentador aos harmônicos na tensão de

alimentação. Para isso, são calculadas as tensões harmônicas em cada poste para a ordem selecionada pelo usuário, da mesma maneira descrita na seção anterior, porém considerando a fonte de alimentação na frequência harmônica de ordem “h” para a qual se deseja fazer a análise. Todas as impedâncias são calculadas para a frequência de ordem “h”, com e sem o banco de capacitores inserido.

Deve-se buscar, caso haja evidência de possível amplificação harmônica, uma forma de reduzir tal efeito. Uma solução anteriormente apresentada [4] acrescenta, uma impedância de correção harmônica em série com o banco de capacitores para dessintonizar a ressonância como mostrado na figura 6.



**Fig. 6 – Impedância de correção harmônica.**

Esta impedância é usada para modificar a frequência de ressonância do circuito da rede secundária de distribuição. A indutância de correção  $L_{corre}$  é calculada para que na frequência de 60 Hz a impedância  $Z_{corre}$  (formada pela associação em série da indutância  $L_{corre}$  inserida com um elemento capacitivo  $C_{corre}$ ), dada pela equação (23), seja nula. Para qualquer outra frequência diferente da fundamental, a impedância  $Z_{corre}$  terá valor diferente de zero. Para as frequências onde há amplificação harmônica a impedância  $Z_{corre}$  faz com que haja uma mudança no valor da frequência de ressonância.

$$Z_{corre} = j.(2.\pi.h.f.L_{corre} - \frac{1}{(2.\pi.h.f.C_{corre})}) \quad (23)$$

Onde:

$Z_{corre}$  – Impedância de correção harmônica.

$C_{corre}$  – Capacitância de correção harmônica.

$L_{corre}$  – Indutância de correção harmônica.

$f$  – Frequência fundamental da rede elétrica.

$h$  – Ordem da harmônica a ser analisada.

Considerou-se na análise anterior usar  $C_{corre} = C_{base}$  (Capacitância base do banco de capacitores), pois seria um valor baixo e igual ao usado na formação do banco capacitivo empregado na correção de tensão fundamental. Tal solução mostrou-se funcional do ponto de vista teórico, porém irrealizável na prática, pois os valores de  $L_{corre}$  obtidos são relativamente altos considerando a corrente que o circulará (por exemplo,  $L_{corre} = 51 \text{ mH}$  e  $I_{eficaz}=57\text{A}$ ), resultado de difícil construção.

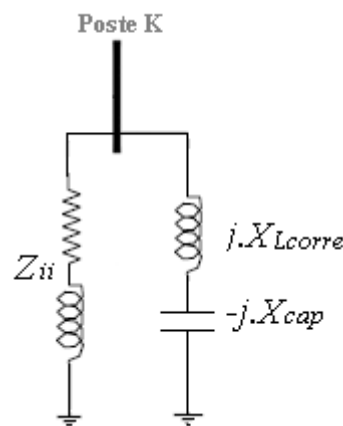
Algumas análises simples mostram que qualquer outra combinação daria valores impraticáveis. Para a mesma situação acima descrita, a escolha de  $C_{corre} = 30 \text{ }\mu\text{F}$  resultaria em  $L_{corre} = 230 \text{ mH}$ , já escolhendo  $C_{corre} = 1,2 \text{ mF}$  tem-se  $L_{corre} = 6,0 \text{ mH}$ , valor que ainda é alto para a corrente do ramo, além do que, o capacitor  $C_{corre}$  inaceitavelmente começa a aumentar.

Buscou-se neste trabalho uma alternativa factível para evitar interações com harmônicos da tensão de alimentação. A primeira tentativa foi especificar o indutor  $L_{corre}$  de modo que fosse transparente, do ponto de vista de um harmônico de projeto, à inserção dos capacitores para a correção da tensão fundamental, sem utilizar  $C_{corre}$ . Foi calculado o indutor ( $L_{corre}$ ) ideal que forneceria uma compensação do nível de terceiro harmônico, pois este era o pior caso. Calculou-se um valor de indutância considerando:

I - O valor da impedância vista do poste de alocação do banco de capacitores em série com o filtro até ao transformador;  $Z_{ii}$

II – Esse resultado é colocado em paralelo com a reatância indutiva do filtro e a capacitiva do banco  $[j.(X_{Lcorre} - X_{cap})]$ ;  $Z_{eqnew}$

III – Considerou-se a razão entre o resultado de (I) e (II) igual à unidade, para poder calcular o valor estimado do indutor que fornecerá o resultado desejado considerando esses parâmetros (não piorar o conteúdo harmônico).



**Fig. 7 – Impedância de correção harmônica em paralelo com Impedância vista do poste K até a fonte de geração.**

$$Z_{ii} = A + j.B \quad (24)$$

Onde:

$Z_{ii}$  – Impedância inicial vista do ponto i até a fonte.

A – Componente real da impedância complexa

B – Componente imaginária da impedância complexa

$$Z_{eqnew} = (A + j.B) // j.(X_{Lcorre} - X_{Cap}) \quad (25)$$

$$Z_{eqnew} = \frac{(A + j.B).j(X_{Lcorre} - X_{Cap})}{A + j.(B + X_{Lcorre} - X_{Cap})}$$

$$Z_{eqnew} = \frac{-B.(X_{Lcorre} + X_{Cap}) + j.A(X_{Lcorre} - X_{Cap})}{A + j.(B + X_{Lcorre} - X_{Cap})} \quad (26)$$

Desejá-se que:  $\frac{|Z_{eqnew}|}{|Z_{ii}|} = 1$

$$\frac{|Z_{eqnew}|}{|Z_{ii}|} = \frac{\sqrt{[-B.(X_{Lcorre} - X_{Cap})]^2 + [A(X_{Lcorre} - X_{Cap})]^2}}{\sqrt{A^2 + (B + X_{Lcorre} - X_{Cap})^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} = 1 \quad (27)$$

$$\left( \frac{\sqrt{[-B.(X_{Lcorre} - X_{Cap})]^2 + [A(X_{Lcorre} - X_{Cap})]^2}}{\sqrt{A^2 + (B + X_{Lcorre} - X_{Cap})^2}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} \right)^2 = 1^2 \quad (28)$$

$$\left( \frac{[-B.(X_{Lcorre} - X_{Cap})]^2 + [A(X_{Lcorre} - X_{Cap})]^2}{A^2 + (B + X_{Lcorre} - X_{Cap})^2} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} \right)^2 = 1 \quad (29)$$

$$(X_{Lcorre} - X_{Cap}) = X \quad (30)$$

$$\frac{[-B.(X)]^2 + [A(X)]^2}{A^2 + (B + X)^2} \cdot \frac{1}{(A^2 + B^2)} = 1 \quad (31)$$

$$B^2.X^2 + A^2.X^2 = [A^2 + (B + X)^2].(A^2 + B^2) \quad (32)$$

$$X^2.(B^2 + A^2) = A^2(A^2 + B^2 + 2.B.X + X^2) + B^2(A^2 + B^2 + 2.B.X + X^2) \quad (33)$$

$$X(2.B.A^2 + 2.B^3) = -(A^4 + 2.A^2.B^2 + B^4) \quad (34)$$

$$X = -\frac{(A^4 + 2.A^2.B^2 + B^4)}{(2.B.A^2 + 2.B^3)} \quad (35)$$

$$X = -\frac{(A^2 + B^2).(A^2 + B^2)}{2.B(A^2 + B^2)} \quad (36)$$

$$X = -\frac{(A^2 + B^2)}{2.B} \quad (37)$$

Mas  $(X_{Lcorre} - X_{Cap}) = X$  , então:

$$(X_{Lcorre} + X_{Cap}) = -\frac{(A^2 + B^2)}{2.B} \quad (38)$$

$$X_{Lcorre} = -\frac{(A^2 + B^2)}{2.B} + X_{Cap} \quad (39)$$

Se  $X_{Cap} = \frac{1}{\omega.C}$  e  $X_L = \omega.L_{corre}$ , teremos:

$$L_{corre} = \frac{1}{\omega^2.C} - \frac{(A^2 + B^2)}{2.\omega.B} \quad (40)$$

Alguns estudos de caso mostraram que, com esta análise, valores de  $L_{corre}$  que reduziam a amplificação harmônica devido à componente de 3º harmônico presente na tensão de alimentação eram suficientemente significativos para, na frequência fundamental, reduzir o efeito obtido de correção de tensão. A aplicação do filtro indutivo, causa uma diminuição do efeito do banco de capacitores, pois ocorre uma diminuição significativa no efeito reativo, quando comparado ao efeito sem a aplicação de  $L_{corre}$ . Isso afetará o nível do controle da tensão corrigida, trazendo-a a valores inferiores ao mínimo solicitado por normas. E mais, como a impedância do ramo de correção de tensão era reduzida, a corrente sofria um acréscimo indesejado e potencialmente destrutivo do banco de capacitores. Assim, tal solução foi descartada.

A solução proposta e implementada faz uso de um banco de capacitores de maior valor, que tornará o nível de tensão próximo de 1,0 pu e, além de tudo, trará como benefício a redução do conteúdo de terceiro harmônico, uma vez que este não se anula no neutro do secundário do transformador de distribuição, sendo referido para o primário, onde fica preso no delta que é usualmente empregado no lado de alta tensão do transformador, causando um menor impacto no sistema de distribuição primária.

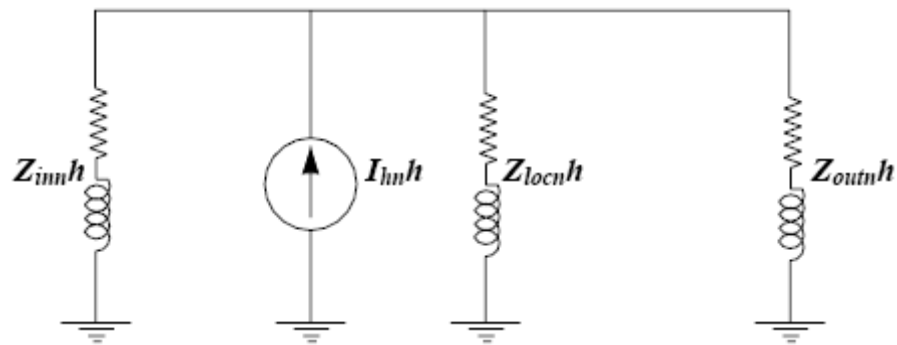
#### **2.4.2. Sensibilidade a Harmônicos de Corrente**

Sabe-se que cargas não lineares podem injetar correntes harmônicas na rede e podem ser modeladas em cada frequência do espectro da corrente como uma fonte de corrente cujo valor é a respectiva corrente harmônica (eficaz). Outras se comportam como fonte de tensão, não tendo ainda um modelo matemático definido, sendo necessário efetuar simulações computacionais para determinação de sua influência no comportamento harmônico da rede de



distribuição [9], como exemplo temos os retificadores a diodo com filtro capacitivo. Em tais casos, pode-se aprimorar o comportamento harmônico da carga pelo seu conteúdo “Clássico”, ou simular o circuito com parâmetros reais do conversor e da rede para obter o conteúdo harmônico.

Uma carga não linear, do tipo fonte de corrente, quando instalada num poste qualquer de uma rede de distribuição, provoca a circulação de correntes harmônicas que têm três caminhos possíveis a percorrer, como mostra a figura 8:



**Fig. 8 – Circuito harmônico equivalente visto do poste genérico n para a frequência do harmônico de ordem h.**

Onde:

$Z_{innh}$ ,  $n = 1$  a  $10$  – Impedância vista do poste genérico  $n$  até a fonte de alimentação para a frequência do harmônico de ordem  $h$ .

$I_{innh}$ ,  $n = 1$  a  $10$  – Fonte de corrente do poste  $n$ .

$Z_{locnh}$ ,  $n = 1$  a  $10$  - Impedância equivalente das cargas do poste genérico  $n$  para a frequência do harmônico de ordem  $h$ .

$Z_{outnh}$ ,  $n = 1$  a  $10$  - Impedância vista do poste genérico  $n$  até o final da rede de distribuição para a frequência do harmônico de ordem  $h$ , sendo que no último poste estarão conectados os capacitores quando solicitado ( $Z_{outnh_{cap}}$ )

A pior condição de cada poste ocorrerá quando a carga com conteúdo harmônico estiver conectada no próprio poste (a interação em outro poste já chegará atenuada). Assim, é

possível analisar a relação entre a impedância equivalente total vista pelo poste K, com capacitores de correção no último poste, e a impedância equivalente sem capacitores no último poste, mostrou ser a melhor opção para correção de tensão fundamental. Assim, a sensibilidade a harmônicos de carga no próprio poste com correção capacitiva,  $G_{vh, \text{postek}}$  vale:

$$G_{vh, \text{postek}} = \frac{Z_{eq, \text{postek-cap}}}{Z_{eq, \text{postek}}} \quad (41)$$

onde:

$$Z_{eq, \text{postek-cap}} = Z_{in, n, h} // Z_{loc, n, h} // Z_{out, n, h, cap}$$

$$Z_{eq, \text{postek}} = Z_{in, n, h} // Z_{loc, n} // Z_{out, n, h}$$

A análise desta sensibilidade permite avaliar se a correção capacitiva simples é adequada ou se outras medidas necessita serem adotadas.

## 2.5. ANÁLISE COM CABOS MULTIPLEXADOS E COM ALIMENTADOR BIPARTIDO

As redes secundárias com cabos multiplexados permitem uma convivência menos agressiva entre a rede aérea de distribuição e a arborização, pois a isolação dos condutores permite contato permanente entre os cabos e galhos de árvores ou outros objetos aterrados. Outra vantagem deste tipo de cabos em relação às redes nuas é a disposição mais compacta, reduzindo o espaço ocupado nas estruturas e necessário à passagem da rede, além de permitir afastamentos menores entre o condutor e edificações. Uma importante característica dos cabos multiplexados é o fato de sua reatância indutiva apresentar um valor bem menor quando comparado ao dos condutores nu com e sem alma de aço. Isso implica numa redução significativa da queda de tensão ao longo da rede para distribuição em baixa tensão devido ao fato da impedância equivalente do cabo ter um valor menor.

Os cabos multiplexados isolados (o condutor neutro não deve ser isolado) estão sendo muito utilizados pelas concessionárias de energia devido ao fato de facilitar a distribuição, além de dificultar a incidência de furtos de eletricidade.

Uma característica observada foi que o valor de capacitor para corrigir o nível de tensão quando utilizamos cabos multiplexados é muito maior quando comparado ao cabo de alumínio comum. O fato é a concretização de que quanto menor a relação ( $L/R$ ) da linha de distribuição, menor será o acréscimo de reativos capacitivos na correção de tensão.

Dados práticos dos procedimentos de distribuição de energia em baixa tensão consideram, em situações normais, um comprimento de circuito de 200 metros a partir do transformador, sendo que a rede secundaria pode ou não ser ramificada. Usualmente utiliza-se uma distância média entre postes de 30 a 40 metros para áreas urbanas e entre 80 a 120 para redes rurais. Normalmente inicia-se a rede com cabos com bitolas maiores e conforme a distribuição de carga se afasta do transformador reduz-se os alimentadores, levando-se sempre em consideração como fatores limitantes as perdas capitalizadas e a queda de tensão. A análise desenvolvida e aqui apresentada contempla a possibilidade de mudança da seção do alimentador no quinto poste.

### 3. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

O algoritmo de análise do perfil de tensão da rede de distribuição foi implementado em ambiente Matlab<sup>®</sup>, considerando uma rede de distribuição genérica.

#### 3.1. DADOS DE ENTRADA

Deve-se realizar a seguinte entrada de dados:

- Dados da fonte de alimentação.
  - Tensão elétrica em pu.
  - Frequência elétrica em hertz.
  - Ordem do harmônico a ser analisado.
  - Resistência da fonte até a entrada do transformador de distribuição em ohm.
  - Indutância da fonte até a entrada do transformador de distribuição em henry.
- Dados do transformador de distribuição.
  - Potência trifásica aparente nominal em kVA por fase.
  - Tensão eficaz nominal no primário e secundário do transformador.
  - Resistência no primário e secundário do transformador em pu.
  - Indutância do primário e secundário do transformador em pu.
  - Resistência de perdas no núcleo do transformador em pu.
  - Indutância do ramo de magnetização do transformador em pu.
- Dados da rede de distribuição.
  - Resistência dos cabos elétricos em ohms por quilômetro.
  - Indutância dos cabos elétricos em henry por quilômetro.
  - Distância entre os postes em quilômetros.

- Número de postes da rede de distribuição (5, 6,7,8,9 ou 10).
- Consumo percentual de carga em cada poste.
- Tensão de comparação para correção de tensão em pu
- Poste de quebra de seção do condutor, se houver.
- Dados do banco de capacitores.
  - Capacitância de cada unidade que comporá o banco em faraday;
  - Localização física do banco de capacitores.

## **3.2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA**

O programa consiste da análise do comportamento da tensão ao longo dos postes em diversas situações de carga, verificando a necessidade de correção do nível de tensão obedecendo-se às recomendações da ANEEL para distribuição de energia.

### **3.2.1. Cálculo das impedâncias de carga em cada poste**

As cargas em cada poste são representadas por matrizes de potência ativa e reativa por fase, calculadas a partir de dois vetores de doze posições, um com valores de potência aparente (tendo como valor mínimo a potência do transformador a vazio e como valor máximo a potência nominal acrescida do fator de serviço), que será multiplicado pelo outro que contém o fator de potência da carga (variando de 0,77 a 0,99).

A matriz de impedâncias complexas de carga na forma retangular em cada poste é calculada a partir das matrizes de potência ativa e reativa e transformada em pu através da divisão pela impedância base, gerando uma matriz de carga (impedâncias), de modo que cada posição desta matriz simula uma situação de carga. Como a matriz gerada é de 12 x 12, temos 144 diferentes situações de carga em cada poste. A seguir o programa efetua o cálculo da associação das impedâncias para simplificar o circuito e facilitar o cálculo das tensões e correntes em cada poste (a programação implementada pode ser vista no apêndice 1).

### 3.2.2. Cálculo das tensões e correntes em cada poste

A segunda parte do programa efetua os cálculos das correntes e tensão em cada poste, sem inserção de banco de capacitores para controle de tensão eficaz, conforme procedimento apresentado na seção 2.2. Primeiro são calculadas as correntes através das impedâncias simplificadas e da tensão eficaz do poste anterior. Em seguida é calculada a tensão no poste em análise, através das impedâncias simplificadas e da corrente naquele poste, fechando os cálculos no último poste. Dos resultados obtidos podem ser visualizados os piores casos do estudo que serão utilizados para efeito de correção e comparação.

### 3.2.3. Cálculo dos capacitores para correção da tensão eficaz

O banco de capacitores para correção da tensão eficaz é composto por três conjuntos que podem ser associações em paralelo. A opção de se usar 3 conjuntos de bancos capacitivos é porque exigirá controle de um sistema de apenas 2 bits. Este resultado mostrou ser adequado, entretanto, outras opções são de fácil implementação.

Pode-se trabalhar matematicamente a equação (20) de modo a obter o valor do capacitor a ser utilizado, em função do ganho de tensão esperado no final do alimentador, obtendo-se:

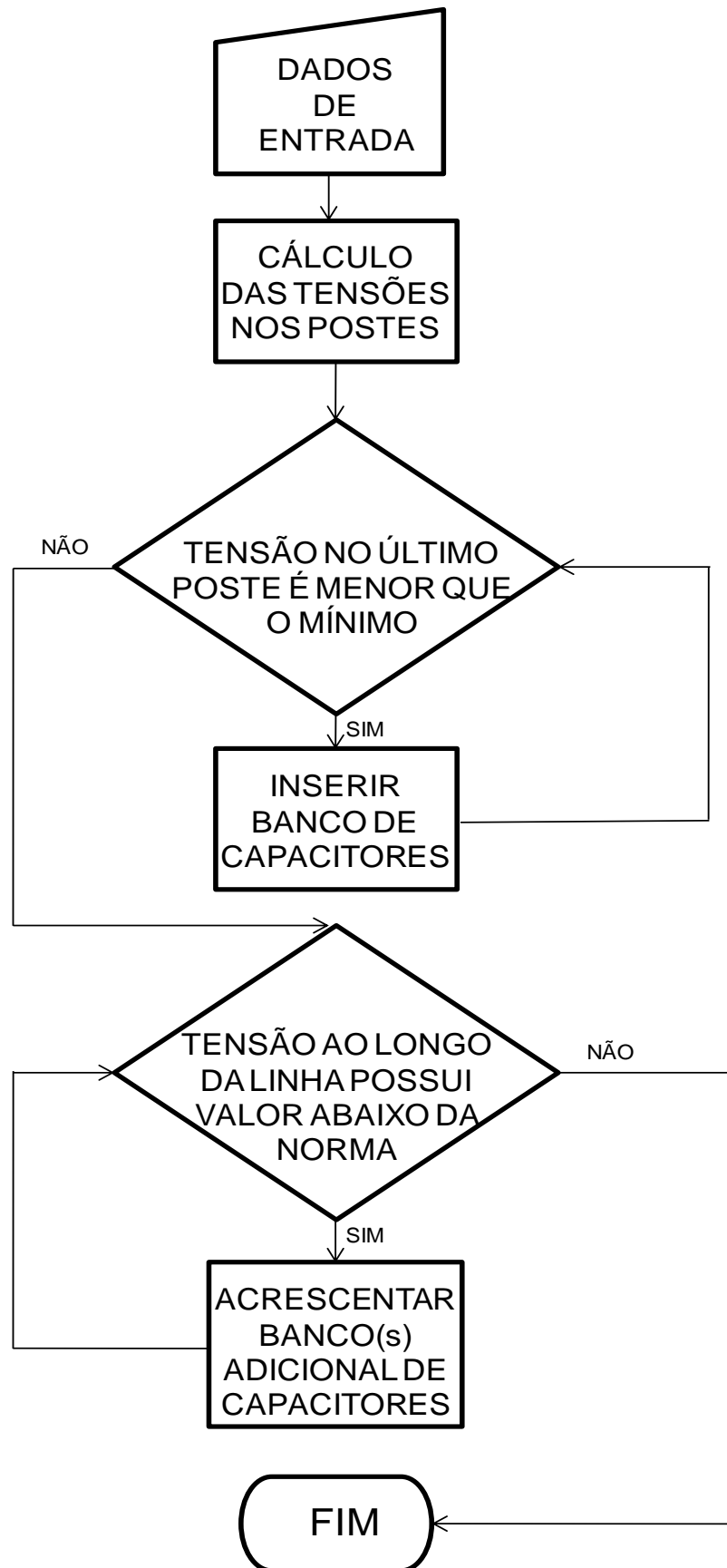
$$C = \frac{X.L}{10.(kV)^2 . \Delta V \% . 2 . \pi . f} \quad (41)$$

Onde C é a Capacitância necessária para correção da tensão eficaz no último poste.

O programa, de posse dos dados gerais do sistema, realiza o primeiro cálculo ao longo do alimentador (nos postes) para diversas situações de carga e de fator de potência; e, se necessário, calcula a capacitância necessária para corrigir a tensão no último poste de forma que fique acima do  $V_{comp}$  (valor estipulado pelo projetista, sendo sugerido 0,935 pu) conforme a equação 41. Após analisar todas as situações, apresenta ao usuário o maior valor de C requisitado pelo alimentador para correção, e pede ao usuário que informe a unidade básica de capacitância (valor comercial monofásico) que comporá o banco total. O programa faz o cálculo de quantas unidades serão necessárias (numa aproximação superior) e faz o cálculo das tensões nos postes, calculando posteriormente as interações harmônicas.

De acordo com a análise a ser feita, os valores de tensão eficaz para conexão do banco de capacitores podem ser ajustados pelo usuário. Adotou-se que toda vez que a tensão eficaz no último poste da rede for inferior a 0,935 pu, que corresponde a 118,7 volts, haverá a inserção automática de um conjunto de capacitores para aumentar a tensão eficaz em 0,03pu. Se a tensão no último poste permanecer inferior ao valor especificado haverá inserção de um novo conjunto de capacitores e assim por diante até o limite de três conjuntos. Caso seu valor seja superior ao valor especificado, não haverá inserção dos conjuntos de capacitores. Em uma implementação, deve-se programar a desconexão paulatina dos bancos discretos inseridos caso a tensão no último poste ultrapasse um valor de segurança, até a tensão cair abaixo deste valor [4]. Tal procedimento almeja evitar que a tensão no primeiro poste suba acima dos níveis admitidos no PRODIST. Para evitar o efeito repique, a tensão de desconexão deve ser superior à tensão de conexão mais o ganho inserido pelo degrau capacitivo. Por exemplo, se  $V_{\text{conexão}} = 0,935$  pu e  $V_{\text{ganho}} = 0,03$  pu, tem-se  $V_{\text{desconexão}} > 0,965$ pu, em outros estudos foi adotado 0,07pu.

Após o final do cálculo dos capacitores a inserir, é verificado se a tensão em algum poste para a condição considerada crítica de S e Fator de Potência ficou abaixo do limite da norma. Caso positivo, será adicionada até um valor total de três conjuntos de  $C_{\text{base}}$  ( Valor Comercial) junto ao banco de capacitores inicial para solucionar o problema. O fluxograma da figura seguinte procura representar a lógica de programação do algoritmo proposto.



**Fig. 9 – Fluxograma do processo de correção de tensão por inserção de capacitores.**



### 3.2.4. Algoritmo de análise harmônica

Na implementação do programa em Matlab foram previstos dois tipos de cálculos para análise harmônica. Inicialmente são calculadas as tensões harmônicas em cada poste, semelhantemente ao modelo para frequência fundamental, considerando-se que a fonte de alimentação fornece uma componente harmônica de ordem “h”, a qual se deseja fazer a análise. Todas as impedâncias são calculadas para a frequência dada por “h” multiplicada pela frequência fundamental da fonte de alimentação. No segundo, para cada poste individualmente, são calculadas com e sem o banco de capacitores inserido: a impedância de carga do poste, a impedância equivalente deste poste até a fonte de alimentação e a impedância equivalente deste poste até o final da rede, com a ordem harmônica sendo determinada pelo projetista.

O programa permite um estudo onde pode ser feita uma análise das consequências da inserção do banco de capacitores nas formas de onda da tensão de forma a limitar a interação harmônica a no máximo 1,0 pu, evitando assim a dessintonização causada pelo efeito da ressonância, não causando amplificações.

Através destes cálculos é possível fazer a análise harmônica da rede de distribuição com e sem capacitores inseridos para qualquer harmônica presente na rede, seja oriunda da fonte de alimentação ou devida a cargas não lineares instaladas na rede.

Além disso foi efetuado o cálculo das impedâncias percentuais: vistas do poste até a fonte de alimentação; equivalente das cargas situadas no poste e a vista do poste até o final da rede de distribuição; com e sem a presença do banco de capacitores. Tem-se como resultado a amplificação de impedância obtida pela relação dos cálculos realizados para cada situação de carga e fator de potência a ser estudado, conforme descrito no capítulo 2.

Com os resultados obtidos após toda implementação do programa, pode-se estimar qual o impacto da inserção do banco de capacitores ao longo de uma rede de distribuição secundária de baixa tensão, sendo obedecidas todas as regulamentações, para que não ocorram penalizações às concessionárias de energia elétrica.

### 3.3. DADOS DE SAÍDA

O programa trabalha com três tipos de estudo: valor fundamental da tensão, sensibilidade a harmônicos na tensão, e sensibilidade a harmônicos na corrente de carga. A análise fornece como resultados matrizes que representam as grandezas descritas a seguir.

#### 3.3.1. Resultados de estudo do valor fundamental da tensão

- Vetor 12x1 - Potência Aparente nos postes para diversas situações de carga ( $S_1, S_2, S_3, \dots$ ), onde os valores de carga variam desde a vazio até uma sobrecarga de 15%;
- Vetor 1x12 - Fator de Potência (FP) variando de 0,77 a 0,99 espaçados de 0,02.
- Matrizes 12x12 onde as linhas representam a situação de potência aparente consumida ( $S_1, S_2, S_3, \dots$ ), e as colunas o respectivo fator de potência (FP):
  - Potência Ativa e Reativa nos postes para diversas situações de carga ( $P_1, Q_1, P_2, Q_2, \dots$ );
  - Impedâncias de carga do sistema de distribuição sem e com a inserção de capacitores no poste ( $Z_1, Z_2, \dots; Z_{1cap}, Z_{2cap}, \dots$ );
  - Impedâncias do sistema de distribuição sem e com a inserção de capacitores vista do ponto i até a fonte ( $Z_A, Z_B, \dots, Z_i; Z_{Acap}, Z_{Bcap}, \dots, Z_{icap}$ );
  - Impedâncias do sistema de distribuição sem e com a inserção de capacitores vista do ponto j até o último poste da rede de distribuição ( $Z_j, Z_k, \dots, Z_Q; Z_{jcap}, Z_{kcap}, \dots, Z_{Qcap}$ );
  - Capacitância ideal para corrigir o pior nível de tensão ao longo da linha (C);
  - Tensão nos postes sem e com a inserção de capacitores ( $V_1; V_2, \dots; V_{1cap}, V_{2cap}, \dots$ );
  - Corrente nos postes sem e com a inserção de capacitores ( $I_1; I_2, \dots; I_{1cap}, I_{2cap}, \dots$ );

#### 3.3.2. Resultados de estudo de sensibilidade a harmônicos na tensão

- Impedâncias de carga do sistema de distribuição sem e com a inserção de capacitores no poste para harmônica de ordem h ( $Z_{1hh}, Z_{2hh}, \dots; Z_{1hhcap}, Z_{2hhcap}, \dots$ );
- Impedâncias do sistema de distribuição sem e com a inserção de capacitores vista do ponto i até a fonte para harmônica de ordem h ( $Z_{Ahh}, Z_{Bhh}, \dots, Z_{ihh}; Z_{Ahhcap}, Z_{Bhhcap}, \dots, Z_{ihhcap}$ );

- Impedâncias do sistema de distribuição sem e com a inserção de capacitores vista do ponto  $j$  até o último poste da rede de distribuição para harmônica de ordem  $h$  ( $Z_{Jhh}$ ,  $Z_{Khh} \dots Z_Q$ ;  $Z_{Jhhcap}$ ,  $Z_{Jhhcap} \dots Z_{Qhhcap}$ );
- Tensão harmônica nos postes sem e com a inserção de capacitores para harmônica de ordem  $h$  ( $V_{1hh}$ ;  $V_{2hh} \dots$ ;  $V_{1hhcap}$ ,  $V_{2hhcap} \dots$ );
- Corrente nos postes sem e com a inserção de capacitores para harmônica de ordem  $h$  ( $I_{1hh}$ ;  $I_{2hh} \dots$ ;  $I_{1hhcap}$ ,  $I_{2hhcap} \dots$ );

### 3.3.3. Resultados de estudo de sensibilidade a harmônicos na corrente de carga

- Impedâncias vistas por cada poste até a fonte sem/com inserção de capacitores para harmônica de ordem  $h$  ( $Z_{in1}$ ,  $Z_{in2}$ ,  $Z_{in3} \dots Z_{in1cap}$ ,  $Z_{in2cap}$ ,  $Z_{in3cap} \dots$ );
- Impedâncias equivalentes das cargas de cada poste sem/com inserção de capacitores para harmônica de ordem  $h$  ( $Z_{loc1}$ ,  $Z_{loc2}$ ,  $Z_{loc3} \dots Z_{loc1cap}$ ,  $Z_{loc2cap}$ ,  $Z_{loc3cap} \dots$ );
- Impedâncias vistas por cada poste até o final da linha sem/com inserção de capacitores para harmônica de ordem  $h$  ( $Z_{out1}$ ,  $Z_{out2}$ ,  $Z_{out3} \dots Z_{out1cap}$ ,  $Z_{out2cap}$ ,  $Z_{out3cap} \dots$ );
- Impedâncias equivalentes vistas por cada poste sem/com inserção de capacitores para harmônica de ordem  $h$  ( $Z_{p1}$ ,  $Z_{p2}$ ,  $Z_{p3} \dots Z_{p1cap}$ ,  $Z_{p2cap}$ ,  $Z_{p3cap} \dots$ );
- Sensibilidade a harmônicos de carga no próprio poste com correção capacitiva ( $RelZ_{p1}$ ,  $RelZ_{p2}$ ,  $RelZ_{p3} \dots$ ).

## 3.4. COMENTÁRIOS

De posse das diversas matrizes de resultados, pode-se analisar o desempenho da inserção de capacitores através do traçado e curvas como serão apresentados em alguns exemplos no capítulo 4.

## 4. RESULTADOS OBTIDOS

Existem diversas possibilidades de análise para a proposta desenvolvida. Neste capítulo, serão demonstradas situações mais comuns encontradas em redes de distribuição secundária, observadas nas concessionárias de fornecimento de energia elétrica.

### 4.1. MODELO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO IMPLEMENTADO EM MATLAB

A corrente nominal do transformador é a própria corrente de base, que pode ser calculada utilizando a equação, conforme abaixo e os dados da tabela II:

$$I_N = \frac{S_{Monofásica}}{V_{fase}} \quad (42)$$

$$I_N = \frac{25}{127} \cdot 1000 \quad (43)$$

$$I_N = 196,85A \quad (44)$$

Para esta corrente será necessário usar na linha de distribuição, um cabo 4/0 AWG ou com 2/0 AWG para alimentadores bipartidos e o cabo de 120 mm<sup>2</sup> multiplexado, cujas resistências e indutâncias por quilômetro são mostradas no anexo 1 [tabela 1] e no anexo 02 [tabela 06].

A rede de distribuição analisada é alimentada através de um transformador trifásico com tensão de linha de 13,8 kV para 220 V. As características do sistema estão apresentadas na tabela II:

**Tabela II – Dados do circuito elétrico da rede de distribuição analisada**

Potência aparente nominal por fase	25 kVA
Tensão nominal do primário do transformador	13,8 kV
Tensão nominal do secundário do transformador	220 V
Resistência do primário do transformador em pu [15]	0,0076 pu
Indutância do primário do transformador em pu [15]	0,016 pu
Resistência do secundário do transformador em pu [15]	0,0076 pu
Indutância do secundário do transformador em pu [15]	0,016 pu
Resistência do ramo de magnetização do transformador em pu [15]	62 pu
Indutância do ramo de magnetização do transformador em pu [15]	227 pu
Fator de serviço	1,15
Resistência por quilômetro do cabo utilizado na linha de distribuição – 2/0	0,4251 $\Omega$ /km
Resistência por quilômetro do cabo utilizado na linha de distribuição – 4/0	0,2665 $\Omega$ /km
Resistência por quilômetro do cabo multiplexado de 120 mm <sup>2</sup>	0,341 $\Omega$ /km
Indutância por quilômetro do cabo utilizado na linha de distribuição – 2/0	0,0028 H/km
Indutância por quilômetro do cabo utilizado na linha de distribuição – 4/0	0,0030 H/km
Indutância por quilômetro do cabo multiplexado de 120 mm <sup>2</sup>	0,00024 H/km
Distância entre postes da rede de distribuição	40 m

Devido à grande variedade de possibilidade de situações, que trazem muitos resultados distintos, mostrar-se-ão apenas os mais expressivos, considerando que o transformador trabalha com cargas variando desde a vazio, até no máximo quinze por cento de sobrecarga (1,15 pu). Assume-se sempre que o sistema esteja operando em regime permanente.

Os gráficos demonstrados neste capítulo, surgem da seguinte situação:

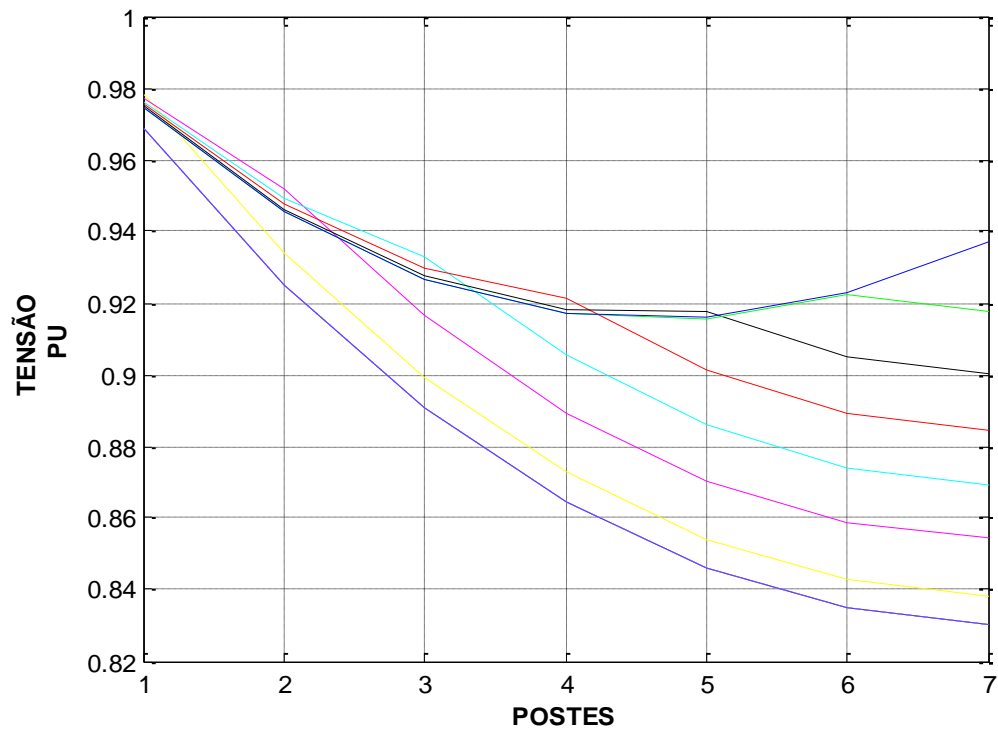
- quinze por cento de sobrecarga na rede de distribuição;
- fator de potência de 0,89;
- distribuição de carga equivalente entre os postes.
- Concentração de carga no final da rede;
- Concentração de carga no início da rede.

## 4.2. ANÁLISE DA TENSÃO FUNDAMENTAL

Nesta seção são apresentados os resultados de tensão eficaz com e sem controle por inserção de banco de capacitores. A análise inicial diz respeito à influência do poste de alocação do capacitor no perfil de tensão ao longo do alimentador. Primeiro, considera-se um alimentador secundário com 7 postes, e distribuição da potência de 15% do valor total nos postes 1 a 6, e 10 % no 7º e último poste.

O resultado obtido está mostrado na figura 11, onde a linha tracejada é a tensão obtida sem correção nenhuma. As demais condições estão descritas na tabela III.

A rotina desenvolvida em Matlab apresenta como primeira aproximação um valor de capacitor  $C = 1269,60 \mu\text{F}$ . Adotou-se então como valor base (ver seção 2.3)  $C_{\text{base}} = 137 \mu\text{F}$  (valor comercial) e a rotina realizou as correções de tensão para as potências e fatores de potência considerados na análise, empregando 3 bancos de  $411 \mu\text{F}$ .



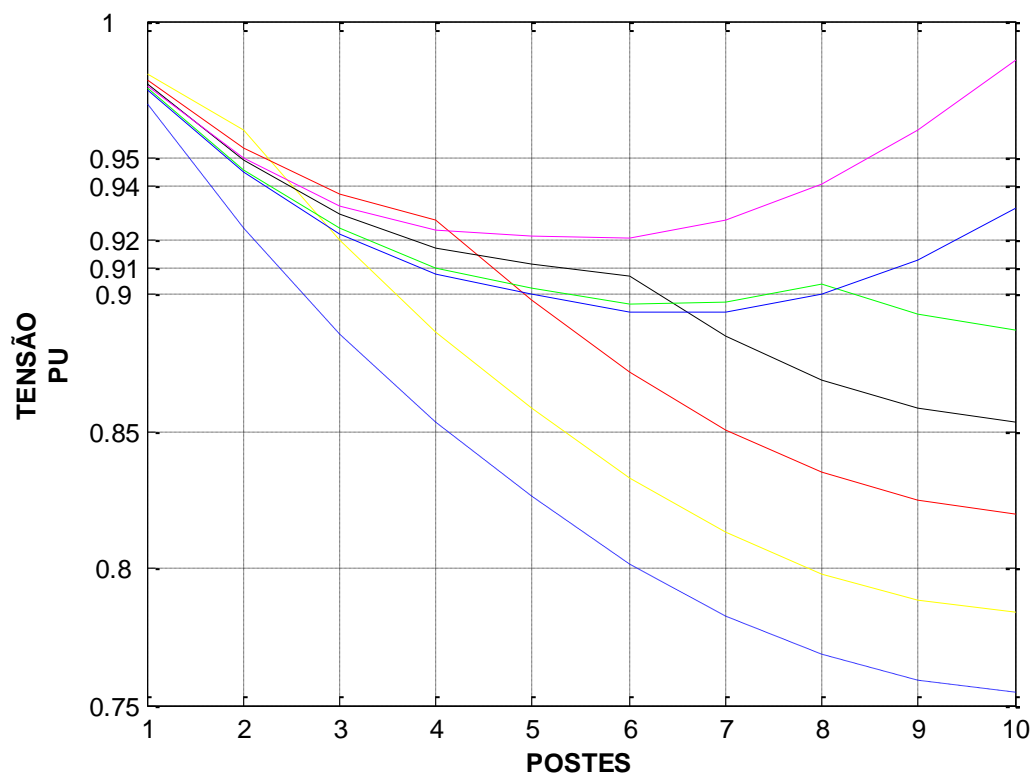
**Fig. 10 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1233  $\mu$ F.**

**Tabela III – Representação das linhas da Figura 10**

Poste Alocado	Gráfico
Sem capacitor	Azul escuro tracejado
Poste 01	Amarelo
Poste 02	Rosa Escuro
Poste 03	Azul claro
Poste 04	Vermelho
Poste 05	Preto
Poste 06	Verde
Poste 07	Azul escuro

Pode-se observar que o melhor nível de correção de tensão no final da linha ocorre quando se aloca o banco de capacitores no último poste da rede de distribuição secundária.

Análise similar foi realizada para uma linha com um total de 10 postes e novamente com distribuição de carga igual ao longo da rede (10% em cada poste), mas utilizando um condutor de seção 4/0 até o 5º poste, e 2/0 do sexto ao décimo poste. O perfil de tensão obtido no alimentador está apresentado na figura 10. Para esta situação, a rotina fez uma aproximação inicial de  $C = 1460,40 \mu\text{F}$ , sendo que se inseriu como  $C_{\text{Base}}$  o valor de  $137 \mu\text{F}$ .



**Fig. 11 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de  $1644 \mu\text{F}$ .**



**Tabela IV – Representação das linhas da Figura 11**

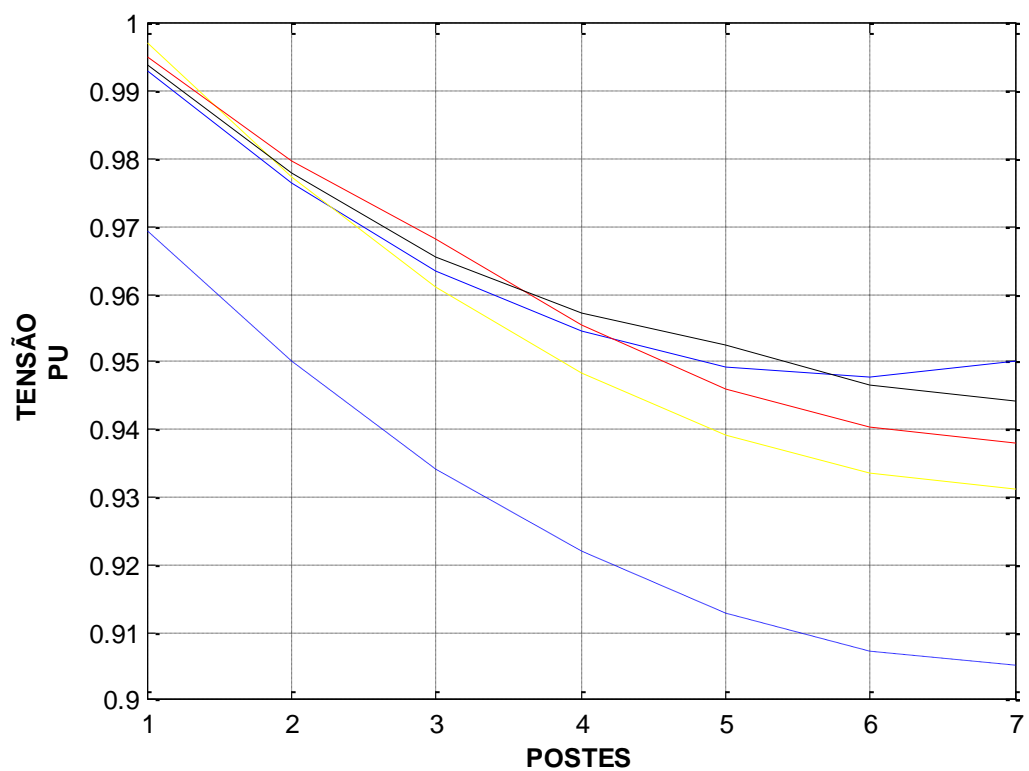
<b>Poste Alocado</b>	<b>Gráfico</b>
Sem capacitor	Azul escuro tracejado
Poste 02	Amarelo
Poste 04	Vermelho
Poste 06	Preto
Poste 08	Verde
Poste 10	Azul escuro
Poste 10 com 3*Cbase adicional	Rosa Escuro

Pode-se observar que o melhor nível de correção de tensão continuou sendo encontrado no final da linha, que ocorre quando se aloca o banco de capacitores no último poste da rede de distribuição secundária. Observando a curva em azul verifica-se que entre os postes 04 a 09 encontram-se um valor de tensão inferior aos valores regulamentados pela ANEEL. Para solucionar este problema foi considerada uma função adicional que verifica toda tensão ao longo da linha, e caso aconteça de algum valor estar abaixo do mínimo regulamentado é inserido um novo conjunto de até três valores da capacitância base para que a anomalia seja acertada. A linha em Rosa escuro na figura 11 representa a correção feita pelo acréscimo de três valores base junto ao banco projetado para a correção no final da linha de distribuição, totalizando uma  $C_{TOTAL}$  (capacitância total) de 2055 microfaradays.

Agora apresenta-se os resultados para uma linha com um total de 07 postes e novamente com distribuição de carga equilibrada ao longo da rede, utilizando um único cabo de 120mm<sup>2</sup> de seção e multiplexado. Para esta situação, a rotina fez uma aproximação inicial de  $C = 3687,60 \mu F$ , sendo que se inseriu como  $C_{Base}$  o valor de 137 $\mu F$ . A legenda das curvas encontra-se na tabela V.

**Tabela V – Representação das linhas da figura 12, 13, 14 e 15**

Poste Alocado	Gráfico
Sem capacitor	Azul escuro tracejado
Poste 01	Amarelo
Poste 03	Vermelho
Poste 05	Preto
Poste 07	Azul

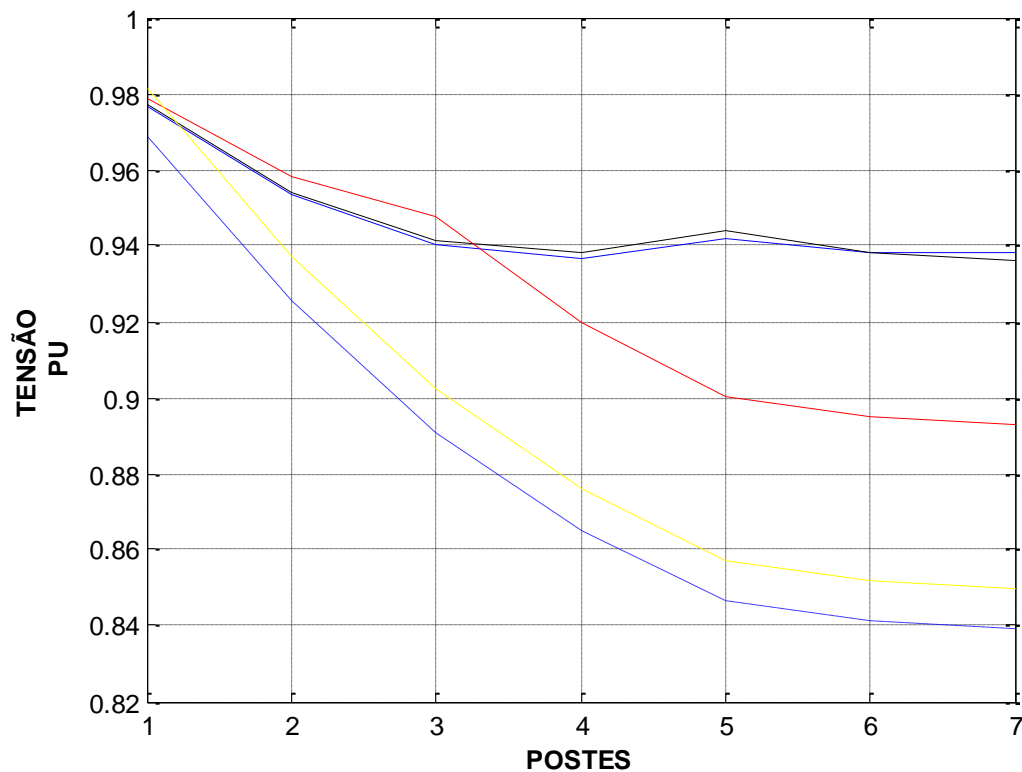


**Fig. 12 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 3699  $\mu$ F.**

Como já apresentado, uma importante característica dos cabos multiplexados é o fato de sua reatância indutiva apresentar um valor bem menor quando comparado ao dos condutores nu. Isso implica numa redução significativa da queda de tensão ao longo da rede

para distribuição em baixa tensão devido ao fato da impedância equivalente do cabo ter seu valor menor. A consequência disso é a necessidade de um valor muito maior de capacitância para correção do nível de tensão ( $C_{TOTAL} = 3699 \mu F$ ), para atender as normas pertinentes. Observa-se que o banco de capacitores poderia estar localizados em qualquer poste, porém o melhor ganho de tensão ao longo de todo o alimentador foi novamente encontrado com a instalação no último poste.

Procurou-se também analisar o comportamento com a correção de uma linha mista onde se utiliza o trecho inicial (até o quarto poste) com cabo 4/0 e o restante (até o sétimo), com cabo multiplexado de  $120 \text{ mm}^2$  e obtiveram-se os resultados mostrados na figura 12 de acordo com a tabela V:



**Fig. 13 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga de 1,15 e Fator de Potência de 0,89 com inserção de  $1644 \mu F$  numa rede mista com cabo 4/0 e multiplexado.**

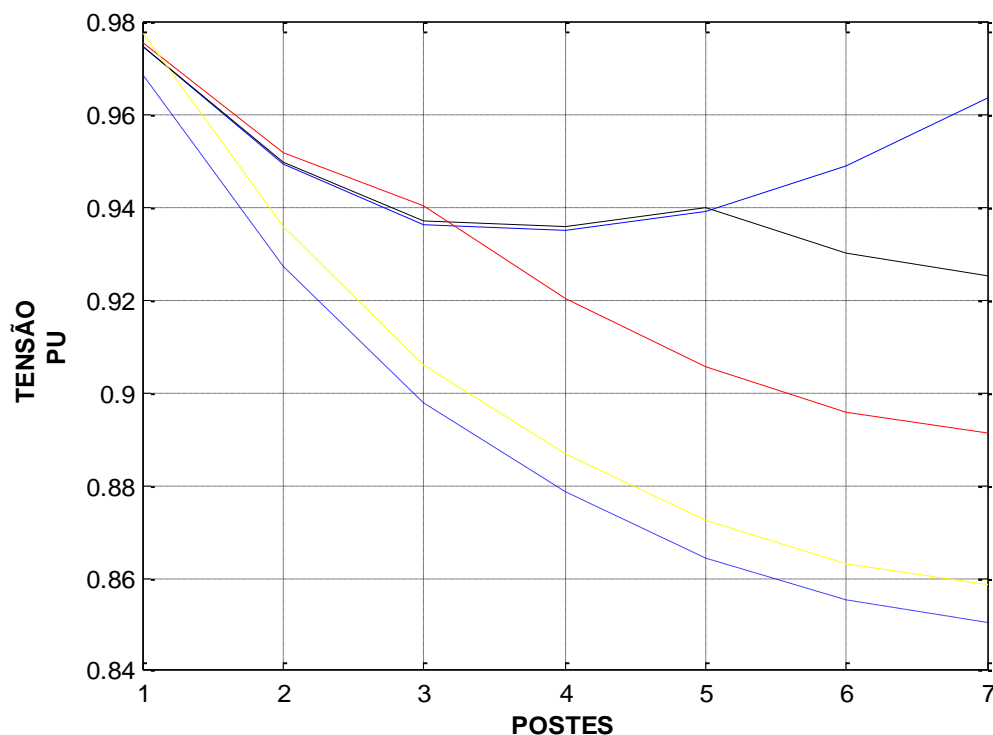
Para esta situação, a rotina fez uma aproximação inicial de  $C = 1439,40 \mu F$ , sendo que se inseriu como  $C_{Base}$  o valor de  $137 \mu F$ . Um dado interessante esperado e observado foi que, para esse tipo de linha, a correção de tensões dos trechos onde estava sendo utilizado cabo

multiplexado não é tão acentuada como no caso da linha com apenas um cabo. Entretanto, o melhor nível de correção, continua sendo alocando os capacitores ( $C_{TOTAL} = 1644 \mu F$ ) no final da linha.

Agora são apresentadas situações onde tem-se uma rede com as seguintes características:

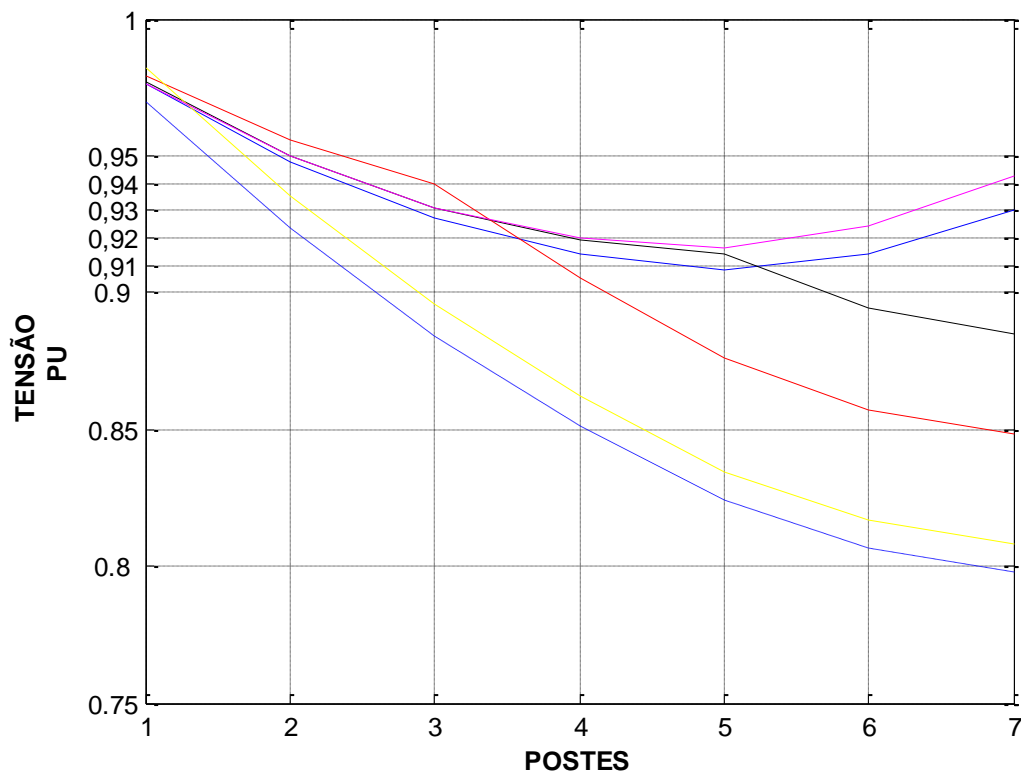
- Sobre-carregamento no início da rede com 20% da carga total em cada um dos três primeiros postes e 10% nos restantes num total de sete;
- Sobre-carregamento no final da rede com 20% da carga total em cada um dos últimos três postes e 10% nos restantes num total de sete;

Utilizou-se cabo com alma de aço 4/0 em toda linha. Sua representação encontra-se na tabela V. A figura 14 mostra o resultado quando está sobre-carregado o início da linha. Para esta situação, a rotina fez uma aproximação inicial de  $C = 1054,30 \mu F$ . Observa-se que o acréscimo do banco de capacitores ( $C_{TOTAL} = 1233 \mu F$ ) no final da rede fornece um alto valor de correção do nível de tensão devido à maior parte da carga estar no início da linha.



**Fig. 14 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga no início da linha carga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1233  $\mu F$ .**

A Figura 15 mostra a representação quando há sobrecarga no final da linha. Para esta situação, a rotina fez uma aproximação inicial de  $C = 1607,40 \mu\text{F}$ , o que levou ao acréscimo do banco de capacitores ( $C_{\text{TOTAL}} = 1644 \mu\text{F}$ ) no programa. Pode-se observar que o melhor nível de correção de tensão manteve-se com a alocação no final da linha. A curva em azul, apresenta no poste 05 valores de tensão inferiores aos regulamentados pela ANEEL. Para solucionar este problema foi inserido junto ao banco projetado para a correção no final da linha de distribuição um conjunto da capacitância base ( $137\mu\text{F}$ ), totalizando uma  $C_{\text{TOTAL}}$  (capacitância total) de  $1781 \mu\text{F}$ . Conclui-se que o acréscimo do banco de capacitores no final da rede fornecerá um valor de correção do nível de tensão que exigirá um maior valor de reativos capacitivos devido à maior parte da carga estar concentrada no final da linha, o que causa uma maior queda de tensão quando comparado a uma distribuição equivalente entre os postes.



**Fig. 15 – Análise da tensão fundamental para sobrecarga no final da linha carga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de  $1644 \mu\text{F}$ .**

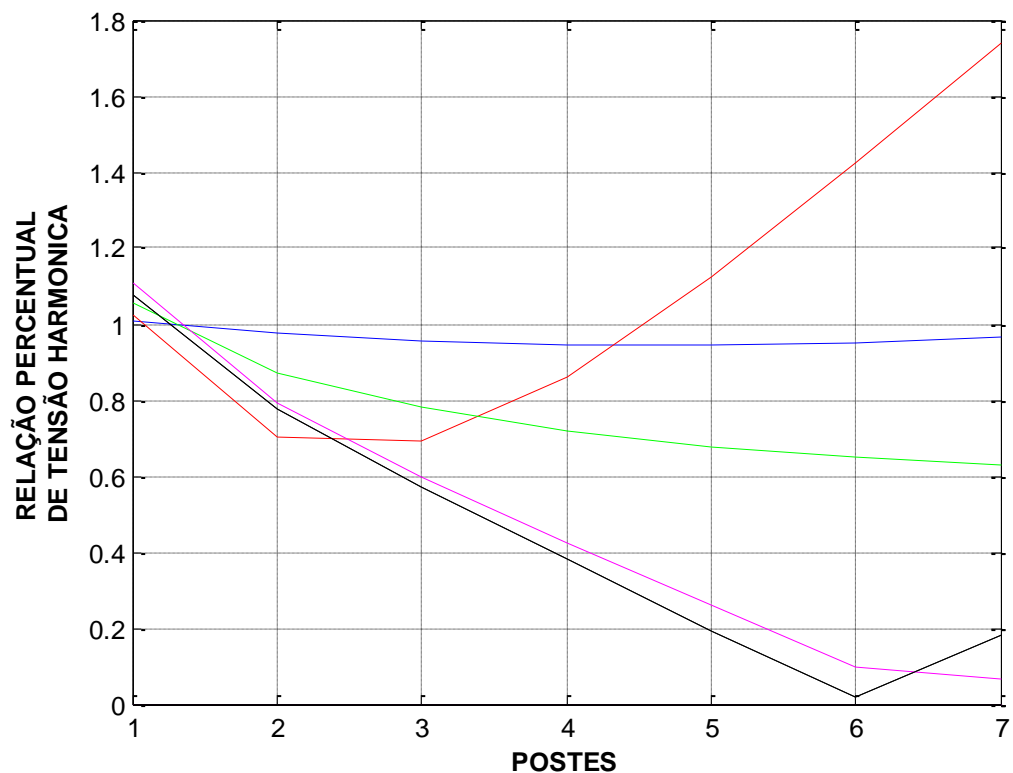
### 4.3. SENSIBILIDADE A HARMÔNICOS NA TENSÃO

Os resultados para a sensibilidade a harmônicos na tensão a serem apresentados considerarão apenas o impacto do acréscimo do banco de capacitores no último poste da rede de distribuição, sendo que, conforme já exposto, este é o ponto que irá trazer a melhor correção do nível de tensão para a frequência fundamental. Apresenta-se a sensibilidade harmônica de 3ª, 5ª, 7ª e 11ª ordem para a situação inicial de carga e fator de potência ( $S=1,15$  pu e  $FP=0,89$ ), considerando o alimentador cuja análise da tensão fundamental pode ser visualizada na figura 10.

A sensibilidade será mostrada pela relação entre a situação com e sem a presença de capacitores na figura 16 de acordo com a tabela VI exceto para a fundamental, em que se apresenta o valor absoluto.

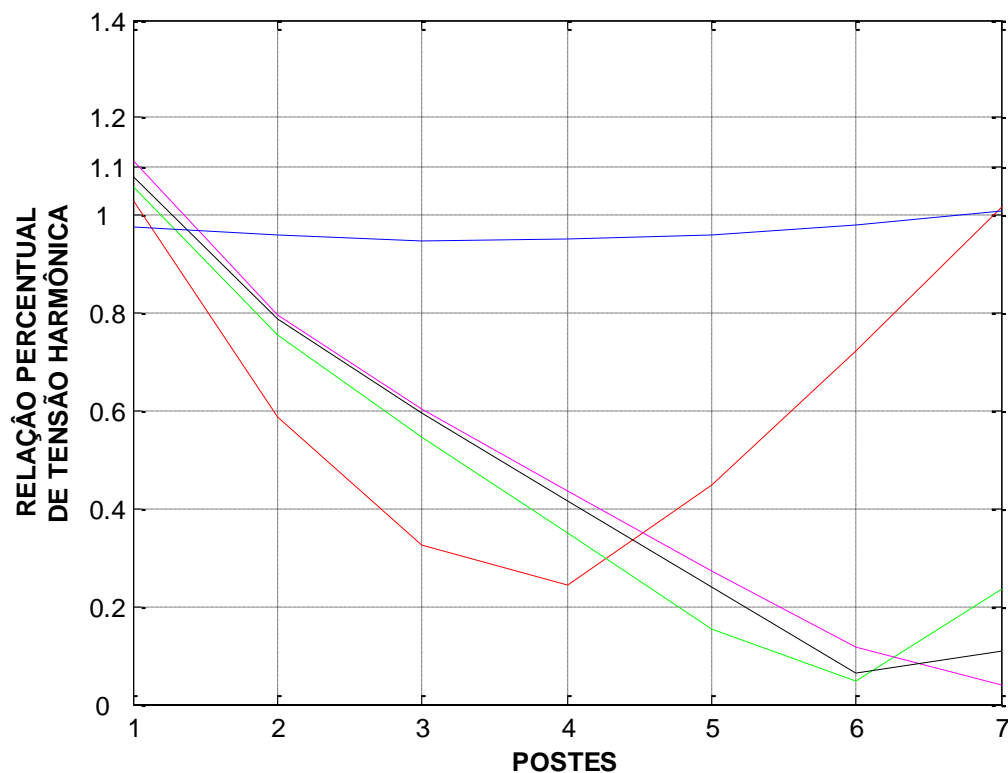
**Tabela VI – Representação das linhas das figuras 16, 17 e 18**

<b>Harmônico Estudado</b>	<b>Gráfico</b>
1ª Ordem com capacitor	Azul escuro
3ª Ordem com/sem capacitor	Vermelho
5ª Ordem com/sem capacitor	Verde
7ª Ordem com/sem capacitor	Preto
11ª Ordem com/sem capacitor	Rosa escuro



**Fig. 16 – Análise da Sensibilidade a harmônicos de tensão para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1233  $\mu\text{F}$ .**

Como se observa, na situação de carga e fp analisados, o terceiro harmônico apresenta 40% e 70% de amplificação harmônica no 6º e 7º poste, respectivamente. O método proposto para atenuação desses problemas de amplificação dos harmônicos oriundos da fonte de alimentação é a utilização de um banco de capacitores de maior valor. Através de uma tentativa criteriosa de ajuste, em que de forma escalonada se aumentou o banco de capacitores até encontrar-se um valor que não resultasse amplificação harmônica, chegou-se a um banco de 1918  $\mu\text{F}$  para correção da tensão fundamental. O resultado está mostrado na figura 17.

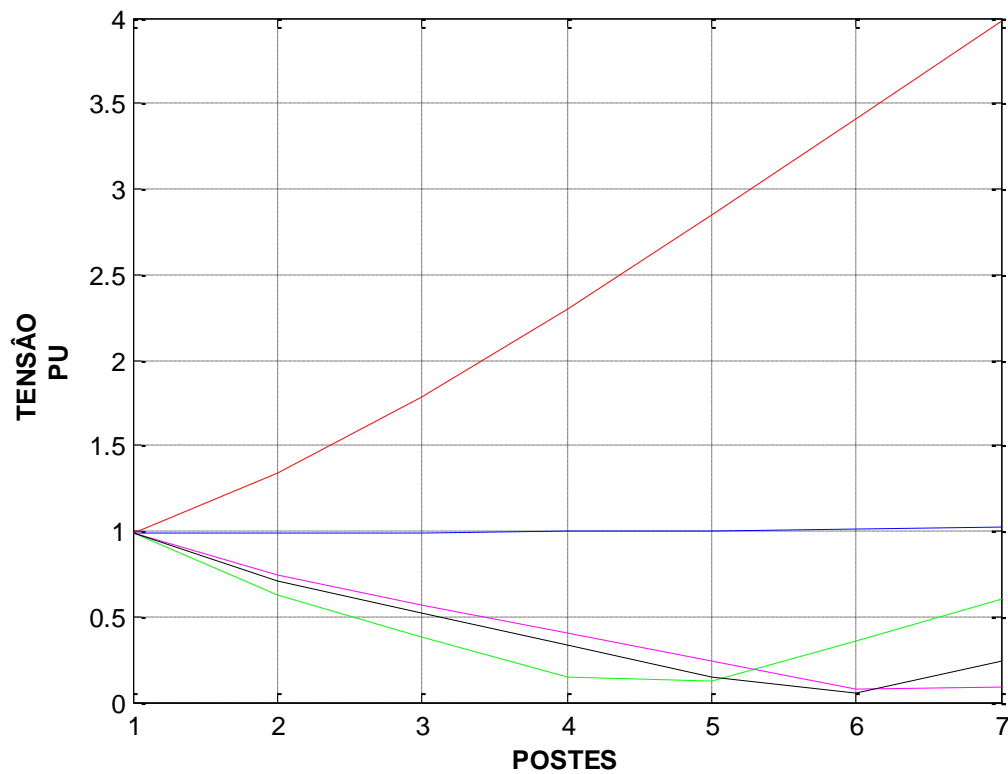


**Fig. 17 – Análise da Sensibilidade a harmônicos de tensão para sobrecarga 115% no transformador e Fator de Potência de 0,89 com inserção de 1918  $\mu\text{F}$ .**

Os resultados mostram que, com a utilização de um banco de capacitores maior, o nível de tensão na frequência fundamental ficará dentro dos valores padrões e as influências de harmônicos (principalmente o terceiro) serão completamente atenuados.

Quando se acrescenta um valor alto de  $C_{\text{base}}$  na rede de distribuição, é comum a preocupação com o nível de tensão para a frequência fundamental nos postes quando estivermos com um baixo valor de carga (muito comum nas noites de inverno) e consequentemente com um baixo valor de fator de potência. Para isso tomou-se o cuidado de verificar o que aconteceria, caso estivéssemos na situação quando o programa julga ser necessário acrescentar reativos ao sistema de 40 % de carga e fator de potência de 0,77. A capacitância inserida vale 959  $\mu\text{F}$  que é metade do valor total anterior estimado. A identificação das linhas obedece à tabela VI.





**Fig. 18 – Análise dos harmônicos de tensão para carga 40% no transformador e Fator de Potência de 0,77 com inserção de 959  $\mu\text{F}$ .**

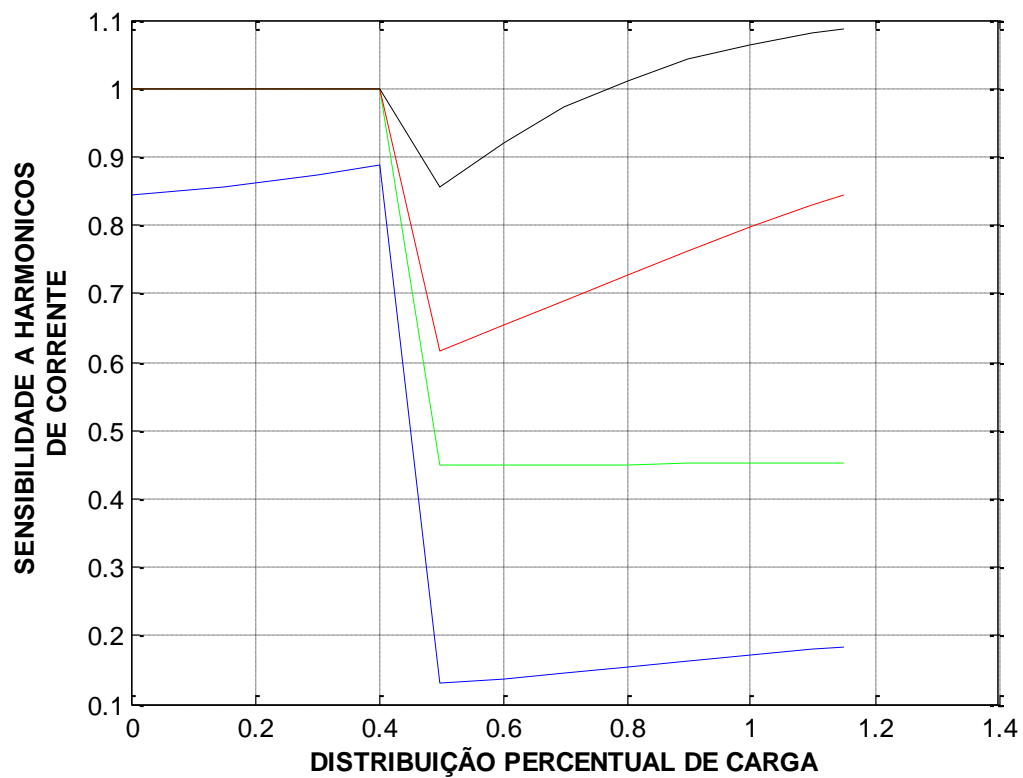
Observa-se que a tensão fundamental encontra-se dentro dos limites padronizados, mas a tensão de terceiro harmônico está bastante amplificada. É importante que a concessionária conheça o perfil harmônico da tensão de alimentação na entrada do transformador sob análise, para carga leve e carga pesada, de forma a avaliar se a amplificação harmônica que está sendo introduzida é relevante. Como exemplo, para a situação da figura 18, em que a inserção de capacitores em excesso para a redução de amplificação harmônica em carga pesada provoca uma amplificação de 400% do 3º harmônico de tensão sob carga leve, é irrelevante se o conteúdo de 3º harmônico da tensão disponibilizada (sem correção capacitiva) for, por exemplo, 10% do valor máximo previsto em norma.

#### 4.4. SENSIBILIDADE A HARMÔNICOS DA CORRENTE DE CARGA

Será apresentada agora a sensibilidade a harmônicos de corrente. Conforme já mencionado na seção 2.4, a pior condição de cada poste ocorrerá quando a carga com conteúdo harmônico estiver conectada no próprio poste (a interação em outro poste já chegará atenuada). Assim, será analisada a relação entre a impedância equivalente total vista pelo poste K, considerando capacitores no último poste (mostrou ser a melhor opção para correção de tensão fundamental), e sem capacitores de correção no último poste. Como o pior harmônico com respeito à ressonância é o 3º, só ele é considerado. O alimentador é aquele de 7 postes com distribuição equilibrada de potência (15 % da potência total nos postes 1 a 6, e 10% no último poste). A análise considera a inserção de até 1918  $\mu\text{F}$ . O primeiro resultado mostrado, figura 19, é da sensibilidade nos postes 01, 04, 06 e 07 desde a vazio até uma potência de 1,15  $S_{\text{NOM}}$  e um  $\text{FP} = 0,87$ . O resultado já considera o valor de capacitância requerido para cada situação.

**Tabela VII – Representação das figuras 19 a 22**

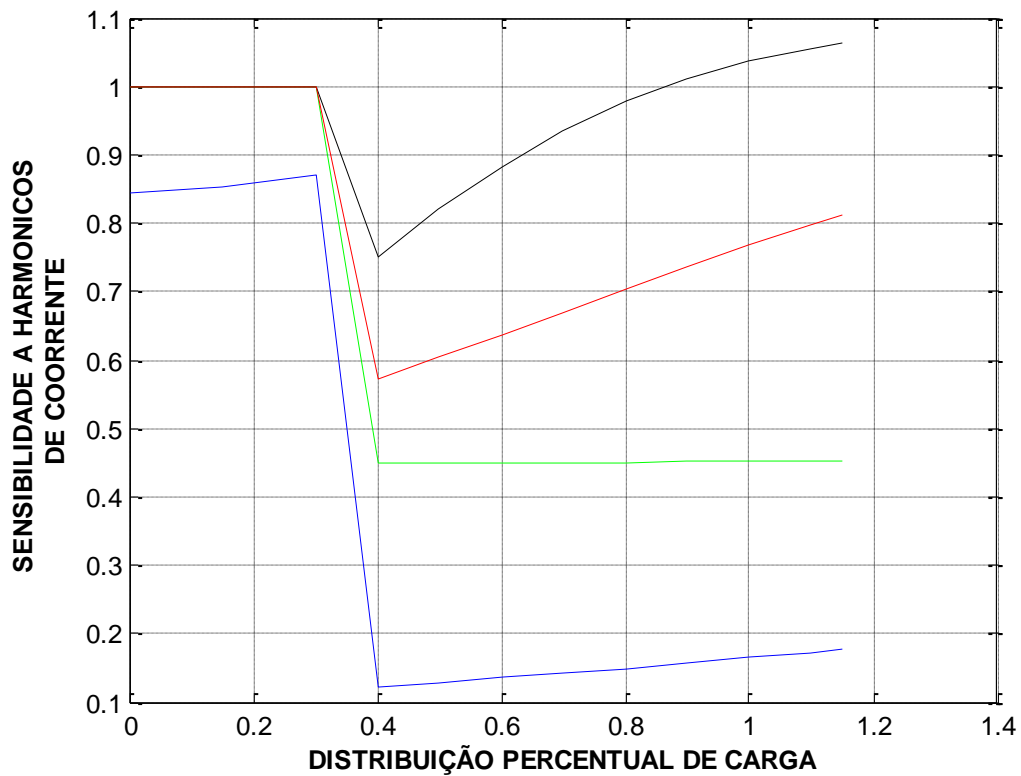
Poste Analisado	Gráfico
Poste 01	Verde
Poste 04	Vermelho
Poste 06	Preto
Poste 07	Azul escuro



**Fig. 19 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,87 com inserção máxima de 1918  $\mu$ F.**

Para o fator de potência analisado o pior valor de amplificação encontrado será inferior a 10% do valor sem capacitores, ou seja não causará impacto no funcionamento da rede de distribuição.

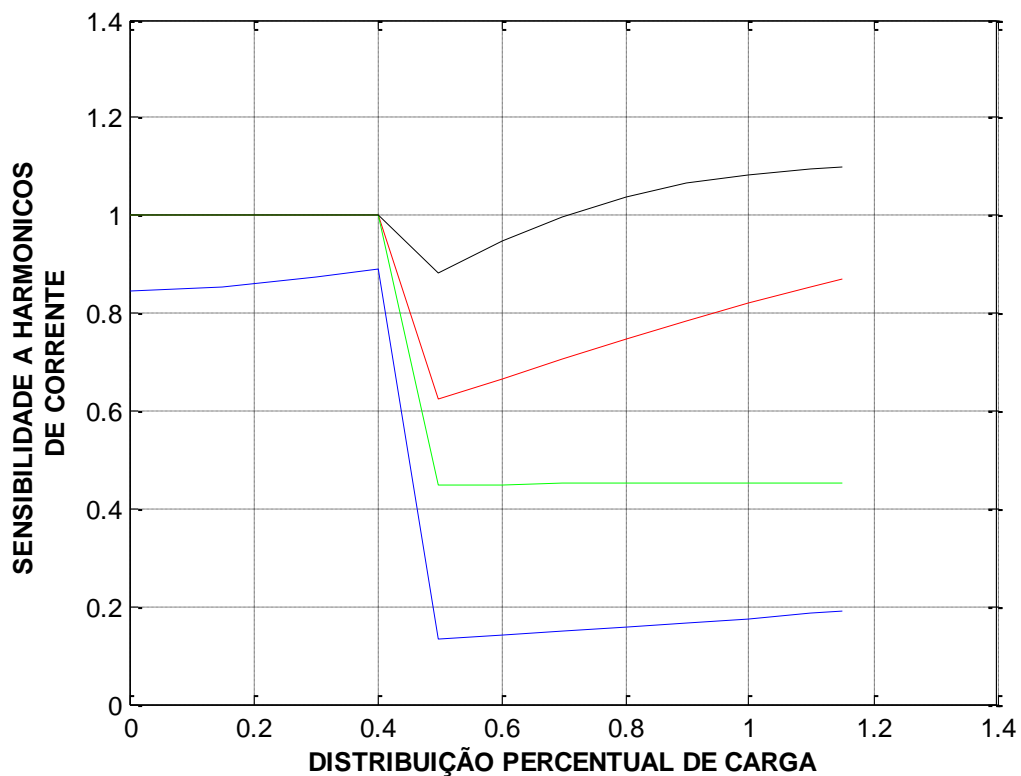
Apresenta-se também uma situação para fator de potência bem baixo ( $FP=0,81$ ), para avaliar o efeito no alimentador. O resultado pode ser visualizado na figura 20.



**Fig. 20 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,81 com inserção máxima de 1918  $\mu$ F**

Fica fácil observar que o pior valor de amplificação encontrado será inferior a 10% do valor original no poste 01, isso se dá pelo fato dele situar-se o mais distante do local de inserção do banco de capacitores. Novamente pode-se constatar que não impactará no funcionamento da rede de distribuição, mesmo trabalhando com um baixo fator de potência.

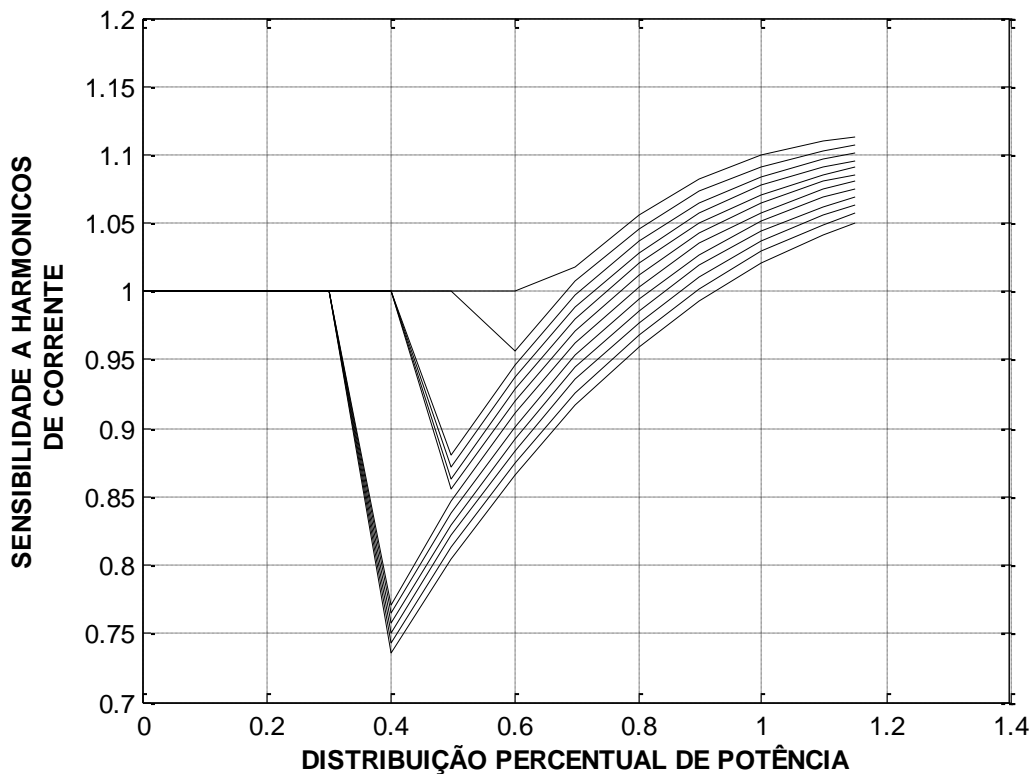
Por fim será apresentada na figura 21 uma situação com alto valor de fator de potência (0,95), para avaliação do desempenho.



**Fig. 21 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para sobrecarga de 115% no transformador e Fator de Potência de 0,95 com inserção máxima de 1918  $\mu$ F.**

Novamente observa-se que os valores estão abaixo do valor original, e que a menor interferência continua sendo no poste no qual o capacitor é alocado. Isso se deve pelo fato da corrente ver como impedância somente a reatância capacitiva do banco. As alterações das curvas para os valores de 40% de carga se deve ao início do incremento de reativos na rede para correção da tensão fundamental.

Como piores resultados apareceram para o postes 06, apresenta-se na figura 22 a contribuição percentual para sensibilidade a 3º harmônico para todos os valores de fator de potência estudados. A multiplicidade de curvas é porque estão traçados os resultados para todos os fatores de potências (0,77 a 0,99) previstos na rotina de análise.



**Fig. 22 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para o poste 06 com inserção máxima de 1918  $\mu\text{F}$ .**

Analisando a figura 22, pode-se observar que os valores de amplificação harmônica para a situação abordada terão seus valores dentro dos padrões estipulados pela regulamentação vigente, não causando interferência no sistema de distribuição.

## 4.5. CONCLUSÕES

A rotina computacional desenvolvida apresenta-se de grande valia para análise do perfil de tensão em alimentadores secundários. Algumas simulações apresentadas comprovam a utilidade da ferramenta.

Pôde-se verificar as diferenças de desempenho da alocação de capacitores em redes de com cabo de alma de aço, multiplexado e mista. Viu-se, por exemplo, que a distribuição equilibrada de carga ao longo do alimentador ou concentrada na parte inicial requisita para correção um valor de capacitância menor que o requerido quando a carga concentra-se ao final do alimentador. Comprovou-se, também, como esperado teoricamente, que a correção

de tensão em cabos multiplexados exige mais reativos devido à menor reatância indutiva do alimentador.

Verificou-se também a importância do valor de capacitância na sensibilidade a harmônicos da tensão e da corrente de carga, onde a influência dos harmônicos de tensão para amplificação harmônica é preponderante.

## 5. CONCLUSÕES

### 5.1. CONCLUSÕES

O Problema de localização e controle de capacitores, que consiste na determinação do número, da localização, do tamanho, tipo, e tempos de chaveamentos dos bancos de capacitores a serem instalados no sistema de distribuição de energia elétrica é de grande importância para as empresas de energia, mas de complexa modelagem matemática que acaba exigindo simplificações das variáveis reais do problema.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma rotina para cálculo do perfil de tensão em alimentadores secundários e determinação dos valores de bancos de capacitores requeridos para correção dos níveis de tensão considerando uma inserção controlada de reativos. Para isso foi desenvolvido um modelamento de uma rede de distribuição secundária monofásica com o intuito de estimar o mais próximo possível a realidade com um programa computacional.

Através das simulações dos programas implementados em Matlab observa-se que o perfil da tensão eficaz nos postes de uma rede de distribuição secundária sofre influências dos seguintes fatores:

- Comprimento da rede de distribuição.
- Potência solicitada pelos consumidores.
- Distribuição da potência ao longo da rede pelos consumidores.
- Tipo de carga instalada na rede.
- Presença de componentes harmônicas na tensão de alimentação.
- Instalação de banco de capacitores.

A rotina computacional desenvolvida mostrou-se bastante versátil para os objetivos propostos. Realiza o cálculo das tensões ao longo de um alimentador secundário qualquer, bastando conhecer as características do transformador e da linha.

A representação por impedâncias equivalentes das cargas conectadas nos postes de um circuito secundário de distribuição revelou-se eficiente no cálculo da tensão disponibilizada nos diversos pontos de conexão. O programa permite visualizar, sob diversas situações de



carga (potência e fator de potência), o perfil de tensão ao longo do alimentador. A análise da tensão com a conexão de capacitores em um poste pré-determinado, realizado para todos os postes, permite visualizar que a melhor opção de correção é efetivamente o último poste. A ferramenta mostrou-se útil em estudos para melhoria de tensão em alimentadores secundários com inserção de capacitores.

Explorou-se também a problemática de ocorrência de amplificações harmônicas devido a harmônicos na tensão de alimentação ou na corrente de carga.

Observou-se pelos resultados das simulações que podem haver amplificações para os harmônicos de tensão se houver inserção de banco de capacitores para correção do nível de tensão eficaz, sendo as amplificações de terceiro harmônico as mais críticas. O método de inserção de um banco de capacitores de maior valor pode atenuar os problemas de amplificação dos harmônicos oriundos da fonte de alimentação. O efeito do capacitor é praticamente desprezível para harmônicos de corrente de carga.

Em relação à rotina de apoio à inserção de capacitor anteriormente disponível, diversas melhorias foram introduzidas subsidiando melhor a análise técnica, destacando-se:

- ✓ A participação da carga em cada poste em relação à total do alimentador, não mais apresenta variação aleatória como anteriormente, mas sim um valor percentual constante.
- ✓ Após a análise da inserção de capacitores acompanhando a tensão no último poste, é feita uma verificação da tensão em todo o alimentador e, se necessário, mais reativos são inseridos.
- ✓ Foi estendida a análise para até 10 postes e incorporou-se a opção de usar duas bitolas ao longo do alimentador.
- ✓ Incluiu-se uma alternativa à utilização de indutores anti-ressonantes.

## **5.2. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestão para esse tema propõe-se os seguintes assuntos para serem pesquisados em trabalhos futuros:

- Analisar a inserção não homogênea de capacitores com variação de carga, dentro da faixa mais provável de Potência e Fator de Potência de forma a minimizar as amplificações harmônicas;

- Extensão da modelagem para sistemas trifásicos adotando-se o modelamento para impedâncias e fluxo de carga.
- Estudar a opção de instalação de bancos de capacitores variáveis tipo STATCOM;
- Incluir na modelagem o problema de harmônicos gerados pela alocação de bancos de capacitores através de uma restrição no valor da distorção harmônica total decorrente dessas alocações;
- Controle das perdas da rede de distribuição, considerando alternativas de reconfigurações e chaveamento dos capacitores.
- Conexão capacitiva em mais de um poste.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PEREIRA, Marcelo A. **Fluxo de Potência em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**, Unicamp, Brasil, 1993.
- [2] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA **Resolução número 505 de 26 de novembro de 2001**. ANEEL, Brasil, 2001.
- [3] SHORT, T.A. **Electric Power Distribution Handbook**. Ed. CRC Press, 2004.
- [4] SARCINELLI, Carlos A. Análise da Aplicação de Conexão em Paralelo de Capacitores em Circuitos Secundários de Baixa Tensão, Dissertação de Mestrado, DEL/CT/UFES, 2005.
- [5] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA **Resolução número 19 de 26 de junho de 2001**. ANEEL, Brasil, 2001.
- [6] CIPOLI, J.A. Engenharia de Distribuição. Ed. Qualitymark, Brasil, 1993.
- [7] PERETA, Henrique Augusto. **Filtro de Dessintonia para Bancos de Capacitores**. XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Universidade do Vale do Paraíba, 2007.
- [8] SCHNEIDER ELECTRIC. **Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Qualidade de Energia e Harmônicas**. Workshop, 2003.
- [9] GONZALES D.A.; MCCALL J.C. Design of Filters Harmonic Distortion in Industrial Power Systems. IEEE, Trans. on Industry Applications, vol. 23, n° 3, mai/jun 1987, págs. 504 – 511.
- [10] ELETROBRAS Coleção Distribuição de Energia Elétrica – Volume 1 – Planejamento de Sistemas de Distribuição. Editora Campus, Brasil, 1982.
- [11] ELETROBRAS Coleção Distribuição de Energia Elétrica – Volume 3 –Desempenho de Sistemas de Distribuição. Editora Campus, Brasil, 1982.
- [12] ELETROBRAS Coleção Distribuição de Energia Elétrica – Volume 5 – Controle de tensão de Sistemas de Distribuição. Editora Campus, Brasil, 1985
- [13] ELETROBRAS Coleção Distribuição de Energia Elétrica – Volume 6 – Manual de Construção de Redes. Editora Campus, Brasil, 1988.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Transformadores para redes aéreas de distribuição – Padronização. NBR 5440, Brasil, 1999.

- [16] SALAMA, M.M.A. & Chichani, A.Y. Classification of Capacitor Allocation Techniques. IEEE Transactions on power delivery, Vol. 15, nº 1, p 387-392, Janeiro 2000.
- [17] GONZALEZ, José Federico Vizcaino. Redução de perdas em redes primárias de distribuição de energia elétrica por instalação e controle de capacitores, UNICAMP, Agosto 2003.
- [18] ALCÂNTARA, Márcio Venício Pilar, Alocação de capacitores em sistemas de distribuição de energia elétrica, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Abril 2005.
- [19] ALVES, Helton do Nascimento; SOUZA, Benemar Alencar de; Ferreira, Helvio Alves. Banks of automatic capacitors in electrical distribution systems: A hibrid algorithm of control, Sba Controle& Automação vol.16 no.1 Campinas Jan./Mar. 2005
- [20] BEÊ, Rafael Terplak. Alocação de Bancos de Capacitores em Sistema de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Algoritmos Genéticos, UFPR, dezembro de 2007.
- [21] POMILIO, J. A. ; DECKMANN, S. M. . Uso de Filtros Passivos em Redes de Distribuição com Cargas Não-Lineares. In: XV Congresso Brasileiro de Automática, 2004, Gramado, 2004. p. 1-6.
- [22] ABREU, J. P. G. ; SILVEIRA, P. M. ; ALMEIDA, J. E. L. ; PRINA, R. ; CARVALHO, S. G. . Avaliação dos Efeitos das Cargas Não Lineares Residenciais na Qualidade da Energia Elétrica de um Sistema de Distribuição. In: XV CBA - Congresso Brasileiro de Automática, 2004, Gramado - RS. CBA - XV Congresso Brasileiro de Automática, 2004.
- [23] WEG – Manual para Correção do Fator de Potência, Brasil, 2005.

# APÊNDICE 1 – PROGRAMA EM MATLAB

```

clear all
clc
format short g
load traf.mat
fprintf('Dados do transformador:      ');
fprintf('SN = %5.0f VA , L1t=%5.4f pu, R1t=%5.4f pu, L2t=%5.4f pu,
R2t=%5.4f pu, Rm=%5.4f pu, Lm=%5.4f pu \n', SN, L1t, R1t, L2t, R2t, Rm, Lm);
opc= input('Se deseja alterar os dados de entrada do transformador digite
"0", se não digite "1"      ');
if opc==1
load traf.mat
else
SN = input('Entre com a potencia trifásica nominal do transformador em VA
');
L1t = input('Entre com a indutancia do primario do transformador em pu
');
R1t= input('Entre com a resistencia do primario do transformador em pu
');
L2t = input('Entre com a indutancia do secundario do transformador em pu
');
R2t= input('Entre com a resistencia do secundario do transformador em pu
');
Rm= input('Entre com a resistencia de magnetizacao do transformador em pu
');
Lm = input('Entre com a indutancia de magnetizacao do transformador em pu
');
end
load lin.mat
fprintf('Dados da Linha de transmissão:      ');
fprintf('Vf = %5.4f pu, L1=%5.4f H/Km, L2=%5.4f H/Km, R1=%5.4f ohm/Km,
R2=%5.4f ohm/Km, dep=%5.4f Km\n', Vf, L1, L2, R1, R2, dep);
opca= input('Se deseja alterar dados de entrada da linha de trasmissão
digite 0, se não digite 1      ');
if opca==1
load lin.mat
else
Vf = input('Entre com a tensao eficaz de entrada em pu ');
L1 = input('Entre com a indutancia do cabo em henrys por Km do primeiro ao
quinto poste ');
L2 = input('Entre com a indutancia do cabo em henrys por Km do quinto ao
último poste ');
R1 = input('Entre com a resistencia do cabo em ohms por km do primeiro ao
quinto poste ');
R2 = input('Entre com a resistencia do cabo em ohms por km do quinto ao
último poste ');
dep = input('Entre com a distancia entre postes em km ');
end
load entrada.mat
fprintf('Os dados de Entrada são:      ');
fprintf('nposte = %5.2f postes , h=%5.2f harmônico, corre=%5.0f ,
Vcomp=%5.3f pu\n', nposte, h, corre, Vcomp);
Lfiltro=1e+10;
Cfiltro=1e-10;
Cbanco=1;
op= input('Se deseja carregar os dados gerais da simulação digite "0", se
não digite "1"      ');
if op==1

```

```

load entrada.mat
else
nposte = input('Entre com o numero de postes da rede de distribuição
(5,6,7,8,9 ou 10) ');
h = input('Entre com a ordem da frequencia da harmonica a ser analisada
');
corre = input('Se desejar fazer correção harmonica digite 1, se nao digite
0 ');
Vcomp = input('Entre com o valor em PU para correção de tensão em PU ');
end
load perc.mat
fprintf('Distribuição percentual entre os postes: ');
fprintf('SP1 = %5.2f %% , SP2=%5.2f %% , SP3=%5.2f %% , SP4=%5.2f %% ,
SP5=%5.2f %% , SP6=%5.2f %% , SP7=%5.2f %% , SP8=%5.2f %% , SP9=%5.2f %% ,
SP10=%5.2f %%\n',SP1,SP2,SP3,SP4,SP5,SP6,SP7,SP8,SP9,SP10);
opcao= input('Se deseja alterar dados de distribuição percentual de
potencia digite 0, se não digite 1 ');
if opcao==1
load perc.mat
else
SP1 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 1
');
SP2 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 2
');
SP3 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 3
');
SP4 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 4
');
SP5 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 5
');
SP6 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 6
');
SP7 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 7
');
SP8 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 8
');
SP9 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 9
');
SP10 = input('Entre com a contribuição percentual de consumo do poste 10
');
end;
S=SN/3;
Sdem=[0.0001;0.15;0.3;0.4;0.5;0.6;0.7;0.8;0.9;1.0;1.1;1.15];
S=S*Sdem;
if nposte==5
% Preenchimento do vetor de potencias para linha de distribuição com
5 postes
S1=[SP1*S/100];
S2=[SP2*S/100];
S3=[SP3*S/100];
S4=[SP4*S/100];
S5=[SP5*S/100];
S6=[1e-10*S/100];
S7=[1e-10*S/100];
S8=[1e-10*S/100];
S9=[1e-10*S/100];
S10=[1e-10*S/100];
elseif nposte==6
% Preenchimento do vetor de potencias para linha de distribuição com
6 postes
S1=[SP1*S/100];

```

```

        S2=[SP2*S/100];
        S3=[SP3*S/100];
        S4=[SP4*S/100];
        S5=[SP5*S/100];
        S6=[SP6*S/100];
        S7=[1e-10*S/100];
        S8=[1e-10*S/100];
        S9=[1e-10*S/100];
        S10=[1e-10*S/100];
elseif nposte==7
    % Preenchimento do vetor de potencias para linha de distribuição
    com 7 postes
        S1=[SP1*S/100];
        S2=[SP2*S/100];
        S3=[SP3*S/100];
        S4=[SP4*S/100];
        S5=[SP5*S/100];
        S6=[SP6*S/100];
        S7=[SP7*S/100];
        S8=[1e-10*S/100];
        S9=[1e-10*S/100];
        S10=[1e-10*S/100];
elseif nposte==8
    % Preenchimento do vetor de potencias para linha de distribuição
    com 8 postes
        S1=[SP1*S/100];
        S2=[SP2*S/100];
        S3=[SP3*S/100];
        S4=[SP4*S/100];
        S5=[SP5*S/100];
        S6=[SP6*S/100];
        S7=[SP7*S/100];
        S8=[SP8*S/100];
        S9=[1e-10*S/100];
        S10=[1e-10*S/100];
elseif nposte==9
    % Preenchimento do vetor de potencias para linha de distribuição
    com 9 postes
        S1=[SP1*S/100];
        S2=[SP2*S/100];
        S3=[SP3*S/100];
        S4=[SP4*S/100];
        S5=[SP5*S/100];
        S6=[SP6*S/100];
        S7=[SP7*S/100];
        S8=[SP8*S/100];
        S9=[SP9*S/100];
        S10=[1e-10*S/100];
else
    % Preenchimento do vetor de potencias para linha de distribuição
    com 10 postes
        S1=[SP1*S/100];
        S2=[SP2*S/100];
        S3=[SP3*S/100];
        S4=[SP4*S/100];
        S5=[SP5*S/100];
        S6=[SP6*S/100];
        S7=[SP7*S/100];
        S8=[SP8*S/100];
        S9=[SP9*S/100];
        S10=[SP10*S/100];

```

```

end
    % Preenchimento da matriz de fatores de potência para linha de
    distribuição
    FP=[.77 .79 .81 .83 .85 .87 .89 .91 .93 .95 .97 .99];
    % Preenchimento das matrizes de potencias ativa e reativa por poste
    P1=S1*FP;
    Q1=S1*sin(acos(FP));
    P2=S2*FP;
    Q2=S2*sin(acos(FP));
    P3=S3*FP;
    Q3=S3*sin(acos(FP));
    P4=S4*FP;
    Q4=S4*sin(acos(FP));
    P5=S5*FP;
    Q5=S5*sin(acos(FP));
    P6=S6*FP;
    Q6=S6*sin(acos(FP));
    P7=S7*FP;
    Q7=S7*sin(acos(FP));
    P8=S8*FP;
    Q8=S8*sin(acos(FP));
    P9=S9*FP;
    Q9=S9*sin(acos(FP));
    P10=S10*FP;
    Q10=S10*sin(acos(FP));
%     end
% end

% Calculo das impedancias do sistema de distribuição sem inserção de
% capacitores
f=60;
Rf=1e-6;
Lf=1e-6;
Rli=Rl*dep;
Rli2=R2*dep;
Lli=Ll*dep;
Lli2=L2*dep;
Zb=(127^2)/25000;
Zm=(Rm*j*Lm)/(Rm+j*Lm);
Zf=(Rf+j*(2*pi*f*Lf))/Zb;
Z1t=R1t+j*(L1t);
Z2t=R2t+j*(L2t);
Vth=Vf*(Zm/(Zf+Z1t+Zm));
ZFT=((Zf+Z1t)*Zm)/(Zf+Z1t+Zm)+Z2t;
Zli=(Rli+j*(2*pi*f*Lli))/Zb;
Zli2=(Rli2+j*(2*pi*f*Lli2))/Zb;
% Xlfhar=(2*pi*f*Lfiltro)/Zb;
% Xcfhar=(1/(2*pi*f*Cfiltro))/Zb;
% Xfhar=j*(Xlfhar-Xcfhar);
for k=1:12;
for l=1:12;

Z1(l,k)=(((127^2/(P1(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q1(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P1(l,k)*Zb)
))+j*(127^2/(Q1(l,k)*Zb)))));
Z2(l,k)=(((127^2/(P2(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q2(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P2(l,k)*Zb)
))+j*(127^2/(Q2(l,k)*Zb)))));
Z3(l,k)=(((127^2/(P3(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q3(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P3(l,k)*Zb)
))+j*(127^2/(Q3(l,k)*Zb)))));
Z4(l,k)=(((127^2/(P4(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q4(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P4(l,k)*Zb)
))+j*(127^2/(Q4(l,k)*Zb)))));

```



```

Z5(l,k)=(((127^2/(P5(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P5(l,k)*Zb)))+j*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))));
Z6(l,k)=(((127^2/(P6(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P6(l,k)*Zb)))+j*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))));
Z7(l,k)=(((127^2/(P7(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q7(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P7(l,k)*Zb)))+j*(127^2/(Q7(l,k)*Zb)))));
Z8(l,k)=(((127^2/(P8(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q8(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P8(l,k)*Zb)))+j*(127^2/(Q8(l,k)*Zb)))));
Z9(l,k)=(((127^2/(P9(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q9(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P9(l,k)*Zb)))+j*(127^2/(Q9(l,k)*Zb)))));
Z10(l,k)=(((127^2/(P10(l,k)*Zb))*j*(127^2/(Q10(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P10(l,k)*Zb)))+j*(127^2/(Q10(l,k)*Zb)))));
if nposte==5
    Z6(l,k)=1e+10;
    Z7(l,k)=1e+10;
    Z8(l,k)=1e+10;
    Z9(l,k)=1e+10;
    Z10(l,k)=1e+10;
elseif nposte==6
    Z7(l,k)=1e+10;
    Z8(l,k)=1e+10;
    Z9(l,k)=1e+10;
    Z10(l,k)=1e+10;
elseif nposte==7
    Z8(l,k)=1e+10;
    Z9(l,k)=1e+10;
    Z10(l,k)=1e+10;
elseif nposte==8
    Z9(l,k)=1e+10;
    Z10(l,k)=1e+10;
elseif nposte==9
    Z10(l,k)=1e+10;

end
ZA=((Zf+Z1t)*Zm)/(Zf+Z1t+Zm);
ZB(l,k)=((ZA+Z2t)*Z1(l,k))/(ZA+Z2t+Z1(l,k));
ZC(l,k)=((ZB(l,k)+Z1i)*Z2(l,k))/(ZB(l,k)+Z1i+Z2(l,k));
ZD(l,k)=((ZC(l,k)+Z1i)*Z3(l,k))/(ZC(l,k)+Z1i+Z3(l,k));
ZE(l,k)=((ZD(l,k)+Z1i)*Z4(l,k))/(ZD(l,k)+Z1i+Z4(l,k));
ZF(l,k)=((ZE(l,k)+Z1i)*Z5(l,k))/(ZE(l,k)+Z1i+Z5(l,k));
ZG(l,k)=((ZF(l,k)+Z1i2)*Z6(l,k))/(ZF(l,k)+Z1i2+Z6(l,k));
ZH(l,k)=((ZG(l,k)+Z1i2)*Z7(l,k))/(ZG(l,k)+Z1i2+Z7(l,k));
ZI(l,k)=((ZH(l,k)+Z1i2)*Z8(l,k))/(ZH(l,k)+Z1i2+Z8(l,k));
ZJ(l,k)=((ZI(l,k)+Z1i2)*Z9(l,k))/(ZI(l,k)+Z1i2+Z9(l,k));
ZK(l,k)=((Z10(l,k)+Z1i2)*Z9(l,k))/(Z10(l,k)+Z1i2+Z9(l,k));
ZL(l,k)=((ZK(l,k)+Z1i2)*Z8(l,k))/(ZK(l,k)+Z1i2+Z8(l,k));
ZM(l,k)=((ZL(l,k)+Z1i2)*Z7(l,k))/(ZL(l,k)+Z1i2+Z7(l,k));
ZN(l,k)=((ZM(l,k)+Z1i2)*Z6(l,k))/(ZM(l,k)+Z1i2+Z6(l,k));
ZO(l,k)=((ZN(l,k)+Z1i2)*Z5(l,k))/(ZN(l,k)+Z1i2+Z5(l,k));
ZP(l,k)=((ZO(l,k)+Z1i)*Z4(l,k))/(ZO(l,k)+Z1i+Z4(l,k));
ZQ(l,k)=((ZP(l,k)+Z1i)*Z3(l,k))/(ZP(l,k)+Z1i+Z3(l,k));
ZR(l,k)=((ZQ(l,k)+Z1i)*Z2(l,k))/(ZQ(l,k)+Z1i+Z2(l,k));
ZS(l,k)=((ZR(l,k)+Z1i)*Z1(l,k))/(ZR(l,k)+Z1i+Z1(l,k));
ZT(l,k)=ZS(l,k)+ZFT;
% Calculo das tensoes e correntes em cada poste sem inserção de capacitores
% IT(l,k)=Vf/ZT(l,k);
IT(l,k)=Vth/ZT(l,k);
ITef(l,k)=abs(IT(l,k));
FI(l,k)=angle(IT(l,k))*180/pi;
V1(l,k)=ZS(l,k)*IT(l,k);
V1ef(l,k)=abs(V1(l,k));

```

```

I1(1,k)=V1(1,k)/Z1(1,k);
IL(1,k)=IT(1,k)-I1(1,k);
ILef(1,k)=abs(IL(1,k));
V2(1,k)=ZR(1,k)*IL(1,k);
V2ef(1,k)=abs(V2(1,k));
I2(1,k)=V2(1,k)/Z2(1,k);
IK(1,k)=IL(1,k)-I2(1,k);
V3(1,k)=ZQ(1,k)*IK(1,k);
V3ef(1,k)=abs(V3(1,k));
I3(1,k)=V3(1,k)/Z3(1,k);
IJ(1,k)=IK(1,k)-I3(1,k);
V4(1,k)=ZP(1,k)*IJ(1,k);
V4ef(1,k)=abs(V4(1,k));
I4(1,k)=V4(1,k)/Z4(1,k);
II(1,k)=IJ(1,k)-I4(1,k);
V5(1,k)=ZO(1,k)*II(1,k);
V5ef(1,k)=abs(V5(1,k));
I5(1,k)=V5(1,k)/Z5(1,k);
IH(1,k)=II(1,k)-I5(1,k);
V6(1,k)=ZN(1,k)*IH(1,k);
V6ef(1,k)=abs(V6(1,k));
I6(1,k)=V6(1,k)/Z6(1,k);
IG(1,k)=IH(1,k)-I6(1,k);
V7(1,k)=ZM(1,k)*IG(1,k);
V7ef(1,k)=abs(V7(1,k));
I7(1,k)=V7(1,k)/Z7(1,k);
IF(1,k)=IG(1,k)-I7(1,k);
V8(1,k)=ZL(1,k)*IF(1,k);
V8ef(1,k)=abs(V8(1,k));
I8(1,k)=V8(1,k)/Z8(1,k);
IE(1,k)=IF(1,k)-I8(1,k);
V9(1,k)=ZK(1,k)*IE(1,k);
V9ef(1,k)=abs(V9(1,k));
I9(1,k)=V9(1,k)/Z9(1,k);
I10(1,k)=IE(1,k)-I9(1,k);
V10(1,k)=Z10(1,k)*I10(1,k);
V10ef(1,k)=abs(V10(1,k));

```

```

% Matriz das tensões ampliada

```

```

V(1,1,k)=V1ef(1,k);
V(2,1,k)=V2ef(1,k);
V(3,1,k)=V3ef(1,k);
V(4,1,k)=V4ef(1,k);
V(5,1,k)=V5ef(1,k);
V(6,1,k)=V6ef(1,k);
V(7,1,k)=V7ef(1,k);
V(8,1,k)=V8ef(1,k);
V(9,1,k)=V9ef(1,k);
V(10,1,k)=V10ef(1,k);

```

```

Xcorre=0;
Nbanco(1,k)=0;
V1efcap(1,k)=V1ef(1,k);
V2efcap(1,k)=V2ef(1,k);
V3efcap(1,k)=V3ef(1,k);
V4efcap(1,k)=V4ef(1,k);
V5efcap(1,k)=V5ef(1,k);
V6efcap(1,k)=V6ef(1,k);
V7efcap(1,k)=V7ef(1,k);
V8efcap(1,k)=V8ef(1,k);
V9efcap(1,k)=V9ef(1,k);

```

```

V10efcap(l,k)=V10ef(l,k);
if nposte==10
    Vcom(l,k)=V10efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
elseif nposte==9
    Vcom(l,k)=V9efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9];
elseif nposte==8
    Vcom(l,k)=V8efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8];
elseif nposte==7
    Vcom(l,k)=V7efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7];
elseif nposte==6
    Vcom(l,k)=V6efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6];
else
    Vcom(l,k)=V5efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5];
end
% fprintf('Valor de comparação da tensão: Vcomp = %5.3f pu\n', Vcomp);
% g= input('Se deseja alterar da tensão de comparação para correção de
tensão em PU digite "0", se não digite "1"      ');
% if g==1
% load Vcomp.mat
% else
%
% end
if Vcom(l,k)<0.93500
    C(l,k)= (10^3*(Vcomp-Vcom(l,k))*100*10*(0.127)^2)/((2*pi*f*L2)*(nposte-
1)*dep*(127^2)*2*pi*f);
else
    C(l,k)=0;
end
end
end
CBmin=max(max(C))
Cbase = input('Entre com o valor da capacitancia de cada unidade do banco
de capacitores em microfaraday ');
LC = input('Entre com o poste no qual o capacitor será alocado ');
load Vcomp.mat
Ncap = (CBmin)/(Cbase*1e-6);
% ncap=round(Ncap)/3;
ncap=round((Ncap/3+0.1));

for k=1:12;
for l=1:12;
Cap(l,k)=1e-10;
for kcl=1:10:30
if LC==1
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcom(l,k)<Vcomp
        Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
    end
end
end
end

```

```

Xcap(l,k)=- (1/ (2*pi*f*Cap(l,k))) /Zb;
Zcap(l,k)=j* (Xcap(l,k)+Xcorre);

Z1cap(l,k)=Z1(l,k)*Zcap(l,k)/(Z1(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
else
Cap(l,k)=Cap(l,k);
Xcap(l,k)=- (1/ (2*pi*f*Cap(l,k))) /Zb;
Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z1cap(l,k)=Z1(l,k)*Zcap(l,k)/(Z1(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==2
Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
if Vcom(l,k)<Vcomp
Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
Xcap(l,k)=- (1/ (2*pi*f*Cap(l,k))) /Zb;
Zcap(l,k)=j* (Xcap(l,k)+Xcorre);

Z2cap(l,k)=Z2(l,k)*Zcap(l,k)/(Z2(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
else
Cap(l,k)=Cap(l,k);
Xcap(l,k)=- (1/ (2*pi*f*Cap(l,k))) /Zb;
Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z2cap(l,k)=Z2(l,k)*Zcap(l,k)/(Z2(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==3
Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
if Vcom(l,k)<Vcomp
Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
Xcap(l,k)=- (1/ (2*pi*f*Cap(l,k))) /Zb;
Zcap(l,k)=j* (Xcap(l,k)+Xcorre);

Z3cap(l,k)=Z3(l,k)*Zcap(l,k)/(Z3(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
else
Cap(l,k)=Cap(l,k);
Xcap(l,k)=- (1/ (2*pi*f*Cap(l,k))) /Zb;
Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z3cap(l,k)=Z3(l,k)*Zcap(l,k)/(Z3(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==4

```

```

Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcom(l,k)<Vcomp
        Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z4cap(l,k)=Z4(l,k)*Zcap(l,k)/(Z4(l,k)+Zcap(l,k));
        Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z4cap(l,k)=Z4(l,k)*Zcap(l,k)/(Z4(l,k)+Zcap(l,k));
        end
elseif LC==5
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
        if Vcom(l,k)<Vcomp
            Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
            Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
            Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z5cap(l,k)=Z5(l,k)*Zcap(l,k)/(Z5(l,k)+Zcap(l,k));
        Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z5cap(l,k)=Z5(l,k)*Zcap(l,k)/(Z5(l,k)+Zcap(l,k));
        end
elseif LC==6
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
        if Vcom(l,k)<Vcomp
            Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
            Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
            Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

```

```

Z6cap(l,k)=Z6(l,k)*Zcap(l,k)/(Z6(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
else
    Cap(l,k)=Cap(l,k);
    Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
    Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z6cap(l,k)=Z6(l,k)*Zcap(l,k)/(Z6(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==7
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcom(l,k)<Vcomp
        Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z7cap(l,k)=Z7(l,k)*Zcap(l,k)/(Z7(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;

else
    Cap(l,k)=Cap(l,k);
    Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
    Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z7cap(l,k)=Z7(l,k)*Zcap(l,k)/(Z7(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==8
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcom(l,k)<Vcomp
        Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z8cap(l,k)=Z8(l,k)*Zcap(l,k)/(Z8(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
else
    Cap(l,k)=Cap(l,k);
    Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
    Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z8cap(l,k)=Z8(l,k)*Zcap(l,k)/(Z8(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==9
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);

```

```

Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcom(l,k)<Vcomp
        Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z9cap(l,k)=Z9(l,k)*Zcap(l,k)/(Z9(l,k)+Zcap(l,k));
        Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z9cap(l,k)=Z9(l,k)*Zcap(l,k)/(Z9(l,k)+Zcap(l,k));
    end
else
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    if Vcom(l,k)<Vcomp
        Cap(l,k)=Cap(l,k)+(ncap*Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z10cap(l,k)=Z10(l,k)*Zcap(l,k)/(Z10(l,k)+Zcap(l,k));
        Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z10cap(l,k)=Z10(l,k)*Zcap(l,k)/(Z10(l,k)+Zcap(l,k));
    end
end

% Calculo das impedancias do sistema de distribuicao com insercao de
% capacitores
ZA=((Zf+Z1t)*Zm)/(Zf+Z1t+Zm);
ZBcap(l,k)=((ZA+Z2t)*Z1cap(l,k))/(ZA+Z2t+Z1cap(l,k));
ZCcap(l,k)=((ZBcap(l,k)+Z1i)*Z2cap(l,k))/(ZBcap(l,k)+Z1i+Z2cap(l,k));
ZDcap(l,k)=((ZCcap(l,k)+Z1i)*Z3cap(l,k))/(ZCcap(l,k)+Z1i+Z3(l,k));
ZEcap(l,k)=((ZDcap(l,k)+Z1i)*Z4cap(l,k))/(ZDcap(l,k)+Z1i+Z4cap(l,k));
ZFcap(l,k)=((ZEcap(l,k)+Z1i)*Z5cap(l,k))/(ZEcap(l,k)+Z1i+Z5cap(l,k));
ZGcap(l,k)=((ZFcap(l,k)+Z1i2)*Z6cap(l,k))/(ZFcap(l,k)+Z1i2+Z6cap(l,k));
ZHcap(l,k)=((ZGcap(l,k)+Z1i2)*Z7cap(l,k))/(ZGcap(l,k)+Z1i2+Z7cap(l,k));
ZIcap(l,k)=((ZHcap(l,k)+Z1i2)*Z8cap(l,k))/(ZHcap(l,k)+Z1i2+Z8cap(l,k));
ZJcap(l,k)=((ZIcap(l,k)+Z1i2)*Z9cap(l,k))/(ZIcap(l,k)+Z1i2+Z9cap(l,k));
ZKcap(l,k)=((Z10cap(l,k)+Z1i2)*Z9cap(l,k))/(Z10cap(l,k)+Z1i2+Z9cap(l,k));
ZLcap(l,k)=((ZKcap(l,k)+Z1i2)*Z8cap(l,k))/(ZKcap(l,k)+Z1i2+Z8cap(l,k));

```

```

ZMcap(l,k)=( (ZLcap(l,k)+Zli2)*Z7cap(l,k)) / (ZLcap(l,k)+Zli2+Z7cap(l,k));
ZNcap(l,k)=( (ZMcap(l,k)+Zli2)*Z6cap(l,k)) / (ZMcap(l,k)+Zli2+Z6cap(l,k));
ZOcap(l,k)=( (ZNcap(l,k)+Zli2)*Z5cap(l,k)) / (ZNcap(l,k)+Zli2+Z5cap(l,k));
ZPcap(l,k)=( (ZOcap(l,k)+Zli)*Z4cap(l,k)) / (ZOcap(l,k)+Zli+Z4cap(l,k));
ZQcap(l,k)=( (ZPcap(l,k)+Zli)*Z3cap(l,k)) / (ZPcap(l,k)+Zli+Z3cap(l,k));
ZRcap(l,k)=( (ZQcap(l,k)+Zli)*Z2cap(l,k)) / (ZQcap(l,k)+Zli+Z2cap(l,k));
ZScap(l,k)=( (ZRcap(l,k)+Zli)*Z1cap(l,k)) / (ZRcap(l,k)+Zli+Z1cap(l,k));
ZTcap(l,k)=ZScap(l,k)+ZFT;

```

```

% Calculo das tensoes e correntes em cada poste com inserção de capacitores

```

```

ITcap(l,k)=Vth/ZTcap(l,k);
ITefcap(l,k)=abs(ITcap(l,k));
FIcap(l,k)=angle(ITcap(l,k))*180/pi;
V1cap(l,k)=ZScap(l,k)*ITcap(l,k);
V1efcap(l,k)=abs(V1cap(l,k));
I1cap(l,k)=V1cap(l,k)/Z1cap(l,k);
ILcap(l,k)=ITcap(l,k)-I1cap(l,k);
ILefcap(l,k)=abs(ILcap(l,k));
V2cap(l,k)=ZRcap(l,k)*ILcap(l,k);
V2efcap(l,k)=abs(V2cap(l,k));
I2cap(l,k)=V2cap(l,k)/Z2cap(l,k);
IKcap(l,k)=ILcap(l,k)-I2cap(l,k);
V3cap(l,k)=ZQcap(l,k)*IKcap(l,k);
V3efcap(l,k)=abs(V3cap(l,k));
I3cap(l,k)=V3cap(l,k)/Z3cap(l,k);
IJcap(l,k)=IKcap(l,k)-I3cap(l,k);
V4cap(l,k)=ZPcap(l,k)*IJcap(l,k);
V4efcap(l,k)=abs(V4cap(l,k));
I4cap(l,k)=V4cap(l,k)/Z4cap(l,k);
IIcap(l,k)=IJcap(l,k)-I4cap(l,k);
V5cap(l,k)=ZOcap(l,k)*IIcap(l,k);
V5efcap(l,k)=abs(V5cap(l,k));
I5cap(l,k)=V5cap(l,k)/Z5cap(l,k);
IHcap(l,k)=IIcap(l,k)-I5cap(l,k);
V6cap(l,k)=ZNcap(l,k)*IHcap(l,k);
V6efcap(l,k)=abs(V6cap(l,k));
I6cap(l,k)=V6cap(l,k)/Z6cap(l,k);
IGcap(l,k)=IHcap(l,k)-I6cap(l,k);
V7cap(l,k)=ZMcap(l,k)*IGcap(l,k);
V7efcap(l,k)=abs(V7cap(l,k));
I7cap(l,k)=V7cap(l,k)/Z7cap(l,k);
IFcap(l,k)=IGcap(l,k)-I7cap(l,k);
V8cap(l,k)=ZLcap(l,k)*IFcap(l,k);
V8efcap(l,k)=abs(V8cap(l,k));
I8cap(l,k)=V8cap(l,k)/Z8cap(l,k);
IEcap(l,k)=IFcap(l,k)-I8cap(l,k);
V9cap(l,k)=ZKcap(l,k)*IEcap(l,k);
V9efcap(l,k)=abs(V9cap(l,k));
I9cap(l,k)=V9cap(l,k)/Z9cap(l,k);
I10cap(l,k)=IEcap(l,k)-I9cap(l,k);
V10cap(l,k)=Z10cap(l,k)*I10cap(l,k);
V10efcap(l,k)=abs(V10cap(l,k));

```

```

if nposte==10
    Vcom(l,k)=V10efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
elseif nposte==9
    Vcom(l,k)=V9efcap(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9];
elseif nposte==8
    Vcom(l,k)=V8efcap(l,k);

```



```

    np = [1 2 3 4 5 6 7 8];
elseif nposte==7
    Vcom(1,k)=V7efcap(1,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7];
elseif nposte==6
    Vcom(1,k)=V6efcap(1,k);
    np = [1 2 3 4 5 6];
else
    Vcom(1,k)=V5efcap(1,k);
    np = [1 2 3 4 5];
end
% Matriz das tensões ampliada corrigida
VC(1,1,k)=V1efcap(1,k);
VC(2,1,k)=V2efcap(1,k);
VC(3,1,k)=V3efcap(1,k);
VC(4,1,k)=V4efcap(1,k);
VC(5,1,k)=V5efcap(1,k);
VC(6,1,k)=V6efcap(1,k);
VC(7,1,k)=V7efcap(1,k);
VC(8,1,k)=V8efcap(1,k);
VC(9,1,k)=V9efcap(1,k);
VC(10,1,k)=V10efcap(1,k);

% Calculo das impedancias do sistema de distribuicao sem insercao de
% capacitores para a harmonica de ordem h
Zmhh=(Rm*j*2*pi*h*f*Lm)/((Rm+j*2*pi*h*f*Lm)*(Zb));
Zfhh=(Rf+j*(2*pi*h*f*Lf))/Zb;
Z1thh=R1t+j*(L1t*h);
Z2thh=R2t+j*(L2t*h);
Vthhh=Vf*(Zmhh/(Zfhh+Z1thh+Zmhh));
ZFTthh=((Zfhh+Z1thh)*Zmhh)/(Zfhh+Z1thh+Zmhh)+Z2thh;
Zlihh=(Rli+j*(2*pi*h*f*Lli))/Zb;
Zlihh2=(Rli2+j*(2*pi*h*f*Lli2))/Zb;
Z1hh(1,k)=(((127^2/(P1(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q1(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P1(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q1(1,k)*Zb)))));
Z2hh(1,k)=(((127^2/(P2(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q2(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P2(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q2(1,k)*Zb)))));
Z3hh(1,k)=(((127^2/(P3(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q3(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P3(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q3(1,k)*Zb)))));
Z4hh(1,k)=(((127^2/(P4(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q4(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P4(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q4(1,k)*Zb)))));
Z5hh(1,k)=(((127^2/(P5(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P5(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))));
Z6hh(1,k)=(((127^2/(P6(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P6(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))));
Z7hh(1,k)=(((127^2/(P7(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P7(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))));
Z8hh(1,k)=(((127^2/(P8(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P8(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))));
Z9hh(1,k)=(((127^2/(P9(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q9(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P9(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q9(1,k)*Zb)))));
Z10hh(1,k)=(((127^2/(P10(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q10(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P10(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q10(1,k)*Zb)))));

if nposte==9
    Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==8
    Z9hh(1,k)=1e+10;
    Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==7
    Z8hh(1,k)=1e+10;

```

```

        Z9hh(1,k)=1e+10;
        Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==6
        Z7hh(1,k)=1e+10;
        Z8hh(1,k)=1e+10;
        Z9hh(1,k)=1e+10;
        Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==5
        Z6hh(1,k)=1e+10;
        Z7hh(1,k)=1e+10;
        Z8hh(1,k)=1e+10;
        Z9hh(1,k)=1e+10;
        Z10hh(1,k)=1e+10;
end
ZAhh=( (Zfhh+Z1thh)*Zmhh)/(Zfhh+Z1thh+Zmhh);
ZBhh(1,k)=( (ZAhh+Z2thh)*Z1hh(1,k))/(ZAhh+Z2thh+Z1hh(1,k));
ZChh(1,k)=( (ZBhh(1,k)+Zlihh)*Z2hh(1,k))/(ZBhh(1,k)+Zlihh+Z2hh(1,k));
ZDhh(1,k)=( (ZChh(1,k)+Zlihh)*Z3hh(1,k))/(ZChh(1,k)+Zlihh+Z3hh(1,k));
ZEhh(1,k)=( (ZDhh(1,k)+Zlihh)*Z4hh(1,k))/(ZDhh(1,k)+Zlihh+Z4hh(1,k));
ZFhh(1,k)=( (ZEhh(1,k)+Zlihh)*Z5hh(1,k))/(ZEhh(1,k)+Zlihh+Z5hh(1,k));
ZGhh(1,k)=( (ZFhh(1,k)+Zlihh2)*Z6hh(1,k))/(ZFhh(1,k)+Zlihh2+Z6hh(1,k));
ZHhh(1,k)=( (ZGhh(1,k)+Zlihh2)*Z7hh(1,k))/(ZGhh(1,k)+Zlihh2+Z7hh(1,k));
ZIhh(1,k)=( (ZHhh(1,k)+Zlihh2)*Z8hh(1,k))/(ZHhh(1,k)+Zlihh2+Z8hh(1,k));
ZJhh(1,k)=( (ZIhh(1,k)+Zlihh2)*Z9hh(1,k))/(ZIhh(1,k)+Zlihh2+Z9hh(1,k));
ZKhh(1,k)=( (Z10hh(1,k)+Zlihh2)*Z9hh(1,k))/(Z10hh(1,k)+Zlihh2+Z9hh(1,k));
ZLhh(1,k)=( (ZKhh(1,k)+Zlihh2)*Z8hh(1,k))/(ZKhh(1,k)+Zlihh2+Z8hh(1,k));
ZMhh(1,k)=( (ZLhh(1,k)+Zlihh2)*Z7hh(1,k))/(ZLhh(1,k)+Zlihh2+Z7hh(1,k));
ZNhh(1,k)=( (ZMhh(1,k)+Zlihh2)*Z6hh(1,k))/(ZMhh(1,k)+Zlihh2+Z6hh(1,k));
ZOhh(1,k)=( (ZNhh(1,k)+Zlihh2)*Z5hh(1,k))/(ZNhh(1,k)+Zlihh2+Z5hh(1,k));
ZPhh(1,k)=( (ZOhh(1,k)+Zlihh)*Z4hh(1,k))/(ZOhh(1,k)+Zlihh+Z4hh(1,k));
ZQhh(1,k)=( (ZPhh(1,k)+Zlihh)*Z3hh(1,k))/(ZPhh(1,k)+Zlihh+Z3hh(1,k));
ZRhh(1,k)=( (ZQhh(1,k)+Zlihh)*Z2hh(1,k))/(ZQhh(1,k)+Zlihh+Z2hh(1,k));
ZShh(1,k)=( (ZRhh(1,k)+Zlihh)*Z1hh(1,k))/(ZRhh(1,k)+Zlihh+Z1hh(1,k));
ZThh(1,k)=ZShh(1,k)+ZFThh;

% Calculo das tensoes e correntes em cada poste sem inserção de capacitores
IThh(1,k)=Vthhh/ZThh(1,k);
ITefhh(1,k)=abs(IThh(1,k));
FIhh(1,k)=angle(IThh(1,k))*180/pi;
V1hh(1,k)=ZShh(1,k)*IThh(1,k);
V1efhh(1,k)=abs(V1hh(1,k));
I1hh(1,k)=V1hh(1,k)/Z1hh(1,k);
ILhh(1,k)=IThh(1,k)-I1hh(1,k);
ILefhh(1,k)=abs(ILhh(1,k));
V2hh(1,k)=ZRhh(1,k)*ILhh(1,k);
V2efhh(1,k)=abs(V2hh(1,k));
I2hh(1,k)=V2hh(1,k)/Z2hh(1,k);
IKhh(1,k)=ILhh(1,k)-I2hh(1,k);
V3hh(1,k)=ZQhh(1,k)*IKhh(1,k);
V3efhh(1,k)=abs(V3hh(1,k));
I3hh(1,k)=V3hh(1,k)/Z3hh(1,k);
IJhh(1,k)=IKhh(1,k)-I3hh(1,k);
V4hh(1,k)=ZPhh(1,k)*IJhh(1,k);
V4efhh(1,k)=abs(V4hh(1,k));
I4hh(1,k)=V4hh(1,k)/Z4hh(1,k);
IIhh(1,k)=IJhh(1,k)-I4hh(1,k);
V5hh(1,k)=ZOhh(1,k)*IIhh(1,k);
V5efhh(1,k)=abs(V5hh(1,k));
I5hh(1,k)=V5hh(1,k)/Z5hh(1,k);
IHhh(1,k)=IIhh(1,k)-I5hh(1,k);
V6hh(1,k)=ZNhh(1,k)*IHhh(1,k);

```

```

V6efhh(1,k)=abs(V6hh(1,k));
I6hh(1,k)=V6hh(1,k)/Z6hh(1,k);
IGhh(1,k)=IHhh(1,k)-I6hh(1,k);
V7hh(1,k)=ZMhh(1,k)*IGhh(1,k);
V7efhh(1,k)=abs(V7hh(1,k));
I7hh(1,k)=V7hh(1,k)/Z7hh(1,k);
IFhh(1,k)=IGhh(1,k)-I7hh(1,k);
V8hh(1,k)=ZLhh(1,k)*IFhh(1,k);
V8efhh(1,k)=abs(V8hh(1,k));
I8hh(1,k)=V8hh(1,k)/Z8hh(1,k);
IEhh(1,k)=IFhh(1,k)-I8hh(1,k);
V9hh(1,k)=ZKhh(1,k)*IEhh(1,k);
V9efhh(1,k)=abs(V9hh(1,k));
I9hh(1,k)=V9hh(1,k)/Z9hh(1,k);
I10hh(1,k)=IEhh(1,k)-I9hh(1,k);
V10hh(1,k)=Z10hh(1,k)*I10hh(1,k);
V10efhh(1,k)=abs(V10hh(1,k));

% Matriz das tensões considerando os harmonicos
Vh(1,1,k)=V1efhh(1,k);
Vh(2,1,k)=V2efhh(1,k);
Vh(3,1,k)=V3efhh(1,k);
Vh(4,1,k)=V4efhh(1,k);
Vh(5,1,k)=V5efhh(1,k);
Vh(6,1,k)=V6efhh(1,k);
Vh(7,1,k)=V7efhh(1,k);
Vh(8,1,k)=V8efhh(1,k);
Vh(9,1,k)=V9efhh(1,k);
Vh(10,1,k)=V10efhh(1,k);

% Calculo da impedancia harmonica do banco de capacitores para corrigir a
tensao eficaz
if nposte==10
    A(1,k)=real(ZJ(1,k));
    B(1,k)=imag(ZJ(1,k));
elseif nposte==9
    A(1,k)=real(ZI(1,k));
    B(1,k)=imag(ZI(1,k));
elseif nposte==8
    A(1,k)=real(ZH(1,k));
    B(1,k)=imag(ZH(1,k));
elseif nposte==7
    A(1,k)=real(ZG(1,k));
    B(1,k)=imag(ZG(1,k));
elseif nposte==6
    A(1,k)=real(ZF(1,k));
    B(1,k)=imag(ZF(1,k));
else
    A(1,k)=real(ZE(1,k));
    B(1,k)=imag(ZE(1,k));
end

D(1,k)=(-2*B(1,k))^2+ 4*((A(1,k)^2+B(1,k)^2-1)*(A(1,k)^2+B(1,k)^2));

if Cap(1,k)<1e-9
    Lfiltro(1,k)=0;
else
    Lfiltro(1,k)=[2*B(1,k)+(D(1,k))^(1/2)]/[2*2*pi*f*(A(1,k)^2+B(1,k)^2-
1)] + 1/((2*pi*f)^2*Cap(1,k));
end

```

```

if corre==1
Xcorrehh=(2*pi*h*f*Lfiltro(l,k)/Zb);
else
Xcorrehh=0;
end

if nposte==5
Z6caphh(l,k)=Z6hh(l,k);
Z7caphh(l,k)=Z7hh(l,k);
Z8caphh(l,k)=Z8hh(l,k);
Z9caphh(l,k)=Z9hh(l,k);
Z10caphh(l,k)=Z10hh(l,k);
Xcaphh(l,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap(l,k)))/Zb;
Zcaphh(l,k)=j*(Xcaphh(l,k)+Xcorrehh);
Z5caphh(l,k)=Z5hh(l,k)*Zcaphh(l,k)/(Z5hh(l,k)+Zcaphh(l,k));
elseif nposte==6
Z5caphh(l,k)=Z5hh(l,k);
Z7caphh(l,k)=Z7hh(l,k);
Z8caphh(l,k)=Z8hh(l,k);
Z9caphh(l,k)=Z9hh(l,k);
Z10caphh(l,k)=Z10hh(l,k);
Xcaphh(l,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap(l,k)))/Zb;
Zcaphh(l,k)=j*(Xcaphh(l,k)+Xcorrehh);
Z6caphh(l,k)=Z6hh(l,k)*Zcaphh(l,k)/(Z6hh(l,k)+Zcaphh(l,k));
elseif nposte==7
Z5caphh(l,k)=Z5hh(l,k);
Z6caphh(l,k)=Z6hh(l,k);
Z8caphh(l,k)=Z8hh(l,k);
Z9caphh(l,k)=Z9hh(l,k);
Z10caphh(l,k)=Z10hh(l,k);
Xcaphh(l,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap(l,k)))/Zb;
Zcaphh(l,k)=j*(Xcaphh(l,k)+Xcorrehh);
Z7caphh(l,k)=Z7hh(l,k)*Zcaphh(l,k)/(Z7hh(l,k)+Zcaphh(l,k));
elseif nposte==8
Z5caphh(l,k)=Z5hh(l,k);
Z6caphh(l,k)=Z6hh(l,k);
Z7caphh(l,k)=Z7hh(l,k);
Z9caphh(l,k)=Z9hh(l,k);
Z10caphh(l,k)=Z10hh(l,k);
Xcaphh(l,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap(l,k)))/Zb;
Zcaphh(l,k)=j*(Xcaphh(l,k)+Xcorrehh);
Z8caphh(l,k)=Z8hh(l,k)*Zcaphh(l,k)/(Z8hh(l,k)+Zcaphh(l,k));
elseif nposte==9
Z5caphh(l,k)=Z5hh(l,k);
Z6caphh(l,k)=Z6hh(l,k);
Z7caphh(l,k)=Z7hh(l,k);
Z8caphh(l,k)=Z8hh(l,k);
Z10caphh(l,k)=Z10hh(l,k);
Xcaphh(l,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap(l,k)))/Zb;
Zcaphh(l,k)=j*(Xcaphh(l,k)+Xcorrehh);
Z9caphh(l,k)=Z9hh(l,k)*Zcaphh(l,k)/(Z9hh(l,k)+Zcaphh(l,k));
else
Z5caphh(l,k)=Z5hh(l,k);
Z6caphh(l,k)=Z6hh(l,k);
Z7caphh(l,k)=Z7hh(l,k);
Z8caphh(l,k)=Z8hh(l,k);
Z9caphh(l,k)=Z9hh(l,k);
Xcaphh(l,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap(l,k)))/Zb;
Zcaphh(l,k)=j*(Xcaphh(l,k)+Xcorrehh);
Z10caphh(l,k)=Z10hh(l,k)*Zcaphh(l,k)/(Z10hh(l,k)+Zcaphh(l,k));

```

```

end
% Calculo das impedancias do sistema de distribuicao com insercao de
% capacitores e harmonica de ordem h
ZFcaphh(1,k) = ((ZEhh(1,k)+Zlihh)*Z5caphh(1,k)) / (ZEhh(1,k)+Zlihh+Z5caphh(1,k));
ZGcaphh(1,k) = ((ZFcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z6caphh(1,k)) / (ZFcaphh(1,k)+Zlihh+Z6caphh(1,k));
ZHcaphh(1,k) = ((ZGcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z7caphh(1,k)) / (ZGcaphh(1,k)+Zlihh2+Z7caphh(1,k));
ZIcaphh(1,k) = ((ZHcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z8caphh(1,k)) / (ZHcaphh(1,k)+Zlihh2+Z8caphh(1,k));
ZJcaphh(1,k) = ((ZIcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z9caphh(1,k)) / (ZIcaphh(1,k)+Zlihh2+Z9caphh(1,k));
ZKcaphh(1,k) = ((Z10caphh(1,k)+Zlihh2)*Z9caphh(1,k)) / (Z10caphh(1,k)+Zlihh2+Z9caphh(1,k));
ZLcaphh(1,k) = ((ZKcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z8caphh(1,k)) / (ZKcaphh(1,k)+Zlihh2+Z8caphh(1,k));
ZMcaphh(1,k) = ((ZLcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z7caphh(1,k)) / (ZLcaphh(1,k)+Zlihh2+Z7caphh(1,k));
ZNcaphh(1,k) = ((ZMcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z6caphh(1,k)) / (ZMcaphh(1,k)+Zlihh2+Z6caphh(1,k));
ZOcaphh(1,k) = ((ZNcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z5caphh(1,k)) / (ZNcaphh(1,k)+Zlihh2+Z5caphh(1,k));
ZPcaphh(1,k) = ((ZOcaphh(1,k)+Zlihh)*Z4hh(1,k)) / (ZOcaphh(1,k)+Zlihh+Z4hh(1,k));
ZQcaphh(1,k) = ((ZPcaphh(1,k)+Zlihh)*Z3hh(1,k)) / (ZPcaphh(1,k)+Zlihh+Z3hh(1,k));
ZRcaphh(1,k) = ((ZQcaphh(1,k)+Zlihh)*Z2hh(1,k)) / (ZQcaphh(1,k)+Zlihh+Z2hh(1,k));
ZScaphh(1,k) = ((ZRcaphh(1,k)+Zlihh)*Z1hh(1,k)) / (ZRcaphh(1,k)+Zlihh+Z1hh(1,k));
ZTcaphh(1,k) = ZScaphh(1,k) + ZFThh;

% Calculo das tensoes e correntes em cada poste com insercao de capacitores
% e harmonica de ordem h
ITcaphh(1,k) = Vthhh/ZTcaphh(1,k);
ITefcaphh(1,k) = abs(ITcaphh(1,k));
FIcaphh(1,k) = angle(ITcaphh(1,k))*180/pi;
V1caphh(1,k) = ZScaphh(1,k)*ITcaphh(1,k);
V1efcaphh(1,k) = abs(V1caphh(1,k));
I1caphh(1,k) = V1caphh(1,k)/Z1hh(1,k);
ILcaphh(1,k) = ITcaphh(1,k) - I1caphh(1,k);
I1efcaphh(1,k) = abs(ILcaphh(1,k));
V2caphh(1,k) = ZRcaphh(1,k)*ILcaphh(1,k);
V2efcaphh(1,k) = abs(V2caphh(1,k));
I2caphh(1,k) = V2caphh(1,k)/Z2hh(1,k);
IKcaphh(1,k) = ILcaphh(1,k) - I2caphh(1,k);
V3caphh(1,k) = ZQcaphh(1,k)*IKcaphh(1,k);
V3efcaphh(1,k) = abs(V3caphh(1,k));
I3caphh(1,k) = V3caphh(1,k)/Z3hh(1,k);
IJcaphh(1,k) = IKcaphh(1,k) - I3caphh(1,k);
V4caphh(1,k) = ZPcaphh(1,k)*IJcaphh(1,k);
V4efcaphh(1,k) = abs(V4caphh(1,k));
I4caphh(1,k) = V4caphh(1,k)/Z4hh(1,k);
IIcaphh(1,k) = IJcaphh(1,k) - I4caphh(1,k);
V5caphh(1,k) = ZOcaphh(1,k)*IIcaphh(1,k);
V5efcaphh(1,k) = abs(V5caphh(1,k));
I5caphh(1,k) = V5caphh(1,k)/Z5caphh(1,k);
IHcaphh(1,k) = IIcaphh(1,k) - I5caphh(1,k);
V6caphh(1,k) = ZNcaphh(1,k)*IHcaphh(1,k);

```

```

V6efcaphh(1,k)=abs(V6caphh(1,k));
I6caphh(1,k)=V6caphh(1,k)/Z6caphh(1,k);
IGcaphh(1,k)=IHcaphh(1,k)-I6caphh(1,k);
V7caphh(1,k)=ZMcaphh(1,k)*IGcaphh(1,k);
V7efcaphh(1,k)=abs(V7caphh(1,k));
I7caphh(1,k)=V7caphh(1,k)/Z7caphh(1,k);
IFcaphh(1,k)=IGcaphh(1,k)-I7caphh(1,k);
V8caphh(1,k)=ZLcaphh(1,k)*IFcaphh(1,k);
V8efcaphh(1,k)=abs(V8caphh(1,k));
I8caphh(1,k)=V8caphh(1,k)/Z8caphh(1,k);
IEcaphh(1,k)=IFcaphh(1,k)-I8caphh(1,k);
V9caphh(1,k)=ZKcaphh(1,k)*IEcaphh(1,k);
V9efcaphh(1,k)=abs(V9caphh(1,k));
I9caphh(1,k)=V9caphh(1,k)/Z9caphh(1,k);
I10caphh(1,k)=IEcaphh(1,k)-I9caphh(1,k);
V10caphh(1,k)=Z10caphh(1,k)*I10caphh(1,k);
V10efcaphh(1,k)=abs(V10caphh(1,k));

```

```

Vhh(1,1,k)=V1efcaphh(1,k);
Vhh(2,1,k)=V2efcaphh(1,k);
Vhh(3,1,k)=V3efcaphh(1,k);
Vhh(4,1,k)=V4efcaphh(1,k);
Vhh(5,1,k)=V5efcaphh(1,k);
Vhh(6,1,k)=V6efcaphh(1,k);
Vhh(7,1,k)=V7efcaphh(1,k);
Vhh(8,1,k)=V8efcaphh(1,k);
Vhh(9,1,k)=V9efcaphh(1,k);
Vhh(10,1,k)=V10efcaphh(1,k);
end
end
end

```

```

V1=min(min(V1ef(:,7)));
V2=min(min(V2ef(:,7)));
V3=min(min(V3ef(:,7)));
V4=min(min(V4ef(:,7)));
V5=min(min(V5ef(:,7)));
V6=min(min(V6ef(:,7)));
V7=min(min(V7ef(:,7)));
V8=min(min(V8ef(:,7)));
V9=min(min(V9ef(:,7)));
V10=min(min(V10ef(:,7)));
Vminef=[V1 V2 V3 V4 V5 V6 V7 V8 V9 V10];
Vmin=min(Vminef);

```

```

VC1=min(min(V1efcap(:,7)));
VC2=min(min(V2efcap(:,7)));
VC3=min(min(V3efcap(:,7)));
VC4=min(min(V4efcap(:,7)));
VC5=min(min(V5efcap(:,7)));
VC6=min(min(V6efcap(:,7)));
VC7=min(min(V7efcap(:,7)));
VC8=min(min(V8efcap(:,7)));
VC9=min(min(V9efcap(:,7)));
VC10=min(min(V10efcap(:,7)));
Vminefcap=[VC1 VC2 VC3 VC4 VC5 VC6 VC7 VC8 VC9 VC10];
Vmincap=min(Vminefcap);

```

```

[VcN,V1efcapn,V2efcapn,V3efcapn,V4efcapn,V5efcapn,V6efcapn,V7efcapn,V8efcapn,V9efcapn,V10efcapn,Cap2] =

```

```
correcao(P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7,Q8,Q9,Q10,f,Rf
,Lf,Rli,Rli2,Lli,Lli2,Zb,Zm,Zf,Z1t,Z2t,ZFT,Zli,Zli2,Vmincap,nposte,Vf,Ncap,
Cbanco,corre,LC,Rm,h,Lm,R1t,R2t,L1t,L2t,Lfiltro,Cfiltro,Ll,dep,Cap,Vth,V10e
fcap);
```

```
% Analise da variaçao das impedancias de 60 a 480 Hz
```

```
n=7;
```

```
F=n*f;
```

```
for l=1:12;
```

```
for k=1:12;
```

```
% Calculo das impedancias harmonicas dos postes 1 a 4 de uma rede de
distribuicao com 5, 6, 7, 8, 9 ou 10 postes
```

```
% Xlfharh(l,k)=Xlfhar*(F/f);
```

```
% Xcfharh(l,k)=Xcfhar*(f/F);
```

```
% Xfharh(l,k)=j*(Xlfharh(l,k)-Xcfharh(l,k));
```

```
Zmh=(Rm*j*Lm*F/60)/(Rm+j*Lm*F/60);
```

```
Zfh=(Rf+j*(2*pi*F*Lf))/Zb;
```

```
Z1th=R1t+j*(L1t*F/60);
```

```
Z2th=R2t+j*(L2t*F/60);
```

```
Zlih=(Rli+j*(2*pi*F*Lli))/Zb;
```

```
Zlih2=(Rli2+j*(2*pi*F*Lli2))/Zb;
```

```
Z1h(l,k)=(((127^2/(P1(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q1(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P1
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q1(l,k)*Zb)))));
```

```
Z2h(l,k)=(((127^2/(P2(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q2(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P2
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q2(l,k)*Zb)))));
```

```
Z3h(l,k)=(((127^2/(P3(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q3(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P3
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q3(l,k)*Zb)))));
```

```
Z4h(l,k)=(((127^2/(P4(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q4(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P4
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q4(l,k)*Zb)))));
```

```
ZAh(l,k)=((Zfh+Z1th)*Zmh)/(Zfh+Z1th+Zmh);
```

```
ZBh(l,k)=((ZAh(l,k)+Z2th)*Z1h(l,k))/(ZAh(l,k)+Z2th+Z1h(l,k));
```

```
ZCh(l,k)=((ZBh(l,k)+Zlih)*Z2h(l,k))/(ZBh(l,k)+Zlih+Z2h(l,k));
```

```
ZDh(l,k)=((ZCh(l,k)+Zlih)*Z3h(l,k))/(ZCh(l,k)+Zlih+Z3h(l,k));
```

```
ZEh(l,k)=((ZDh(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZDh(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));
```

```
if corre==1
```

```
    Xcorrehh=2*pi*F*Lfiltro(l,k)/Zb;
```

```
else
```

```
    Xcorrehh=0;
```

```
end
```

```
% Calculo das impedancias harmonicas do poste 5 para uma rede de
distribuicao de 5 postes com e sem insercao de capacitores
```

```
if nposte==5
```

```
Z5h(l,k)=(((127^2/(P5(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P5
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))));
```

```
    Zcaph(l,k)=j*((60/F)*Xcap(l,k)+Xcorrehh);
```

```
    Z5caph(l,k)=Z5h(l,k)*Zcaph(l,k)/(Z5h(l,k)+Zcaph(l,k));
```

```
    ZOh(l,k)=Z5h(l,k);
```

```
    ZPh(l,k)=((ZOh(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZOh(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));
```

```
    ZQh(l,k)=((ZPh(l,k)+Zlih)*Z3h(l,k))/(ZPh(l,k)+Zlih+Z3h(l,k));
```

```
    ZRh(l,k)=((ZQh(l,k)+Zlih)*Z2h(l,k))/(ZQh(l,k)+Zlih+Z2h(l,k));
```

```
    ZSh(l,k)=((ZRh(l,k)+Zlih)*Z1h(l,k))/(ZRh(l,k)+Zlih+Z1h(l,k));
```

```
    ZOcaph(l,k)=Z5caph(l,k);
```

```
ZPcaph(l,k)=((ZOcaph(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZOcaph(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));
```

```

ZQcaph(l,k) = ((ZPcaph(l,k) + Zlih) * Z3h(l,k)) / (ZPcaph(l,k) + Zlih + Z3h(l,k));

ZRcaph(l,k) = ((ZQcaph(l,k) + Zlih) * Z2h(l,k)) / (ZQcaph(l,k) + Zlih + Z2h(l,k));

ZScaph(l,k) = ((ZRcaph(l,k) + Zlih) * Z1h(l,k)) / (ZRcaph(l,k) + Zlih + Z1h(l,k));

% Impedancias vistas por cada poste sem inserção de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1(l,k) = ZAh(l,k) + Z2th;
Zloc1(l,k) = Z1h(l,k);
Zout1(l,k) = ZOh(l,k) + Zlih;
Zp1(l,k) = abs(1 / ((1/Zin1(l,k)) + (1/Zloc1(l,k)) + (1/Zout1(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 2
Zin2(l,k) = ZBh(l,k) + Zlih;
Zloc2(l,k) = Z2h(l,k);
Zout2(l,k) = ZPh(l,k) + Zlih;
Zp2(l,k) = abs(1 / ((1/Zin2(l,k)) + (1/Zloc2(l,k)) + (1/Zout2(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 3
Zin3(l,k) = ZCh(l,k) + Zlih;
Zloc3(l,k) = Z3h(l,k);
Zout3(l,k) = ZQh(l,k) + Zlih;
Zp3(l,k) = abs(1 / ((1/Zin3(l,k)) + (1/Zloc3(l,k)) + (1/Zout3(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 4
Zin4(l,k) = ZDh(l,k) + Zlih;
Zloc4(l,k) = Z4h(l,k);
Zout4(l,k) = ZRh(l,k) + Zlih;
Zp4(l,k) = abs(1 / ((1/Zin4(l,k)) + (1/Zloc4(l,k)) + (1/Zout4(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 5
Zin5(l,k) = ZEh(l,k) + Zlih;
Zloc5(l,k) = Z5h(l,k);
Zp5(l,k) = abs(1 / ((1/Zin5(l,k)) + (1/Zloc5(l,k))));

% Impedancias vistas por cada poste com inserção de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1cap(l,k) = ZAh(l,k) + Z2th;
Zloc1cap(l,k) = Z1h(l,k);
Zout1cap(l,k) = ZOcap(l,k) + Zlih;

Zp1cap(l,k) = abs(1 / ((1/Zin1cap(l,k)) + (1/Zloc1cap(l,k)) + (1/Zout1cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 2
Zin2cap(l,k) = ZBh(l,k) + Zlih;
Zloc2cap(l,k) = Z2h(l,k);
Zout2cap(l,k) = ZPcaph(l,k) + Zlih;

Zp2cap(l,k) = abs(1 / ((1/Zin2cap(l,k)) + (1/Zloc2cap(l,k)) + (1/Zout2cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 3
Zin3cap(l,k) = ZCh(l,k) + Zlih;
Zloc3cap(l,k) = Z3h(l,k);
Zout3cap(l,k) = ZQcaph(l,k) + Zlih;

Zp3cap(l,k) = abs(1 / ((1/Zin3cap(l,k)) + (1/Zloc3cap(l,k)) + (1/Zout3cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 4
Zin4cap(l,k) = ZDh(l,k) + Zlih;
Zloc4cap(l,k) = Z4h(l,k);
Zout4cap(l,k) = ZRcaph(l,k) + Zlih;

Zp4cap(l,k) = abs(1 / ((1/Zin4cap(l,k)) + (1/Zloc4cap(l,k)) + (1/Zout4cap(l,k))));

```



```

% Impedancias vistas do poste 5
    Zin5cap(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih;
    Zloc5cap(l,k)=Z5caph(l,k);
    Zp5cap(l,k)=abs(1/((1/Zin5cap(l,k))+(1/Zloc5cap(l,k))));
% Calculo da amplificacao de impedancia com e sem insercao de capacitor
    relZp1(l,k)=Zp1cap(l,k)/Zp1(l,k);
    relZp2(l,k)=Zp2cap(l,k)/Zp2(l,k);
    relZp3(l,k)=Zp3cap(l,k)/Zp3(l,k);
    relZp4(l,k)=Zp4cap(l,k)/Zp4(l,k);
    relZp5(l,k)=Zp5cap(l,k)/Zp5(l,k);

% Calculo das impedancias harmonicas dos postes 5 e 6 para uma rede de
distribuicao de 6 postes com e sem insercao de capacitores
elseif nposte==6

Z5h(l,k)=(((127^2/(P5(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P5
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))));
    ZFh(l,k)=((ZEh(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZEh(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));

Z6h(l,k)=(((127^2/(P6(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P6
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))));
    Zcaph(l,k)=j*((60/F)*Xcap(l,k)+Xcorrehh);
    Z6caph(l,k)=Z6h(l,k)*Zcaph(l,k)/(Z6h(l,k)+Zcaph(l,k));
    ZNh(l,k)=Z6h(l,k);
    ZOOh(l,k)=((ZNh(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZNh(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));
    ZPh(l,k)=((ZOOh(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZOOh(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));
    ZQh(l,k)=((ZPh(l,k)+Zlih)*Z3h(l,k))/(ZPh(l,k)+Zlih+Z3h(l,k));
    ZRh(l,k)=((ZQh(l,k)+Zlih)*Z2h(l,k))/(ZQh(l,k)+Zlih+Z2h(l,k));

ZSh(l,k)=((ZRh(l,k)+Zlih)*Z1fharh(l,k))/(ZRh(l,k)+Zlih+Z1fharh(l,k));
    ZNcaph(l,k)=Z6caph(l,k);

ZOcaph(l,k)=((ZNcaph(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZNcaph(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));

ZPcaph(l,k)=((ZOcaph(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZOcaph(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));

ZQcaph(l,k)=((ZPcaph(l,k)+Zlih)*Z3h(l,k))/(ZPcaph(l,k)+Zlih+Z3h(l,k));

ZRcaph(l,k)=((ZQcaph(l,k)+Zlih)*Z2h(l,k))/(ZQcaph(l,k)+Zlih+Z2h(l,k));

ZScaph(l,k)=((ZRcaph(l,k)+Zlih)*Z1h(l,k))/(ZRcaph(l,k)+Zlih+Z1h(l,k));

% Impedancias vistas por cada poste sem insercao de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
    Zin1(l,k)=ZAh(l,k)+Z2th;
    Zloc1(l,k)=Z1h(l,k);
    Zout1(l,k)=ZNh(l,k)+Zlih;
    Zp1(l,k)=abs(1/((1/Zin1(l,k))+(1/Zloc1(l,k))+(1/Zout1(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 2
    Zin2(l,k)=ZBh(l,k)+Zlih;
    Zloc2(l,k)=Z2h(l,k);
    Zout2(l,k)=ZOOh(l,k)+Zlih;
    Zp2(l,k)=abs(1/((1/Zin2(l,k))+(1/Zloc2(l,k))+(1/Zout2(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 3
    Zin3(l,k)=ZCh(l,k)+Zlih;
    Zloc3(l,k)=Z3h(l,k);
    Zout3(l,k)=ZPh(l,k)+Zlih;
    Zp3(l,k)=abs(1/((1/Zin3(l,k))+(1/Zloc3(l,k))+(1/Zout3(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 4
    Zin4(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;

```

```

        Zloc4(l,k)=Z4h(l,k);
        Zout4(l,k)=ZQh(l,k)+Zlih;
        Zp4(l,k)=abs(1/((1/Zin4(l,k))+(1/Zloc4(l,k))+(1/Zout4(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 5
        Zin5(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih;
        Zloc5(l,k)=Z5h(l,k);
        Zout5(l,k)=ZRh(l,k)+Zlih2;
        Zp5(l,k)=abs(1/((1/Zin5(l,k))+(1/Zloc5(l,k))+(1/Zout5(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 6
        Zin6(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih;
        Zloc6(l,k)=Z6h(l,k);
        Zp6(l,k)=abs(1/((1/Zin6(l,k))+(1/Zloc6(l,k))));

% Impedancias vistas por cada poste com inserção de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
        Zin1cap(l,k)=ZAh(l,k)+Z2th;
        Zloc1cap(l,k)=Z1h(l,k);
        Zout1cap(l,k)=ZNcaph(l,k)+Zlih;

        Zp1cap(l,k)=abs(1/((1/Zin1cap(l,k))+(1/Zloc1cap(l,k))+(1/Zout1cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 2
        Zin2cap(l,k)=ZBh(l,k)+Zlih;
        Zloc2cap(l,k)=Z2h(l,k);
        Zout2cap(l,k)=ZOcaph(l,k)+Zlih;

        Zp2cap(l,k)=abs(1/((1/Zin2cap(l,k))+(1/Zloc2cap(l,k))+(1/Zout2cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 3
        Zin3cap(l,k)=ZCh(l,k)+Zlih;
        Zloc3cap(l,k)=Z3h(l,k);
        Zout3cap(l,k)=ZPcaph(l,k)+Zlih;

        Zp3cap(l,k)=abs(1/((1/Zin3cap(l,k))+(1/Zloc3cap(l,k))+(1/Zout3cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 4
        Zin4cap(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;
        Zloc4cap(l,k)=Z4h(l,k);
        Zout4cap(l,k)=ZQcaph(l,k)+Zlih;

        Zp4cap(l,k)=abs(1/((1/Zin4cap(l,k))+(1/Zloc4cap(l,k))+(1/Zout4cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 5
        Zin5cap(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih;
        Zloc5cap(l,k)=Z5h(l,k);
        Zout5cap(l,k)=ZRCaph(l,k)+Zlih2;

        Zp5cap(l,k)=abs(1/((1/Zin5cap(l,k))+(1/Zloc5cap(l,k))+(1/Zout5cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 6
        Zin6cap(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih;
        Zloc6cap(l,k)=Z6caph(l,k);
        Zp6cap(l,k)=abs(1/((1/Zin6cap(l,k))+(1/Zloc6cap(l,k))));
% Calculo da amplificação de impedancia com e sem inserção de capacitor
        relZp1(l,k)=Zp1cap(l,k)/Zp1(l,k);
        relZp2(l,k)=Zp2cap(l,k)/Zp2(l,k);
        relZp3(l,k)=Zp3cap(l,k)/Zp3(l,k);
        relZp4(l,k)=Zp4cap(l,k)/Zp4(l,k);
        relZp5(l,k)=Zp5cap(l,k)/Zp5(l,k);
        relZp6(l,k)=Zp6cap(l,k)/Zp6(l,k);

% Calculo das impedancias harmonicas do poste 5, 6 e 7 para uma rede de
distribuição de 7 postes com e sem inserção de capacitores
elseif nposte==7

```

```

Z7h(1,k)=(((127^2/(P7(1,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P7(1,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))));
Zcaph(1,k)=j*((60/F)*Xcap(1,k)+Xcorrehh);

Z5h(1,k)=(((127^2/(P5(1,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P5(1,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))));

Z6h(1,k)=(((127^2/(P6(1,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P6(1,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))));
Z7caph(1,k)=Z7h(1,k)*Zcaph(1,k)/(Z7h(1,k)+Zcaph(1,k));
ZFh(1,k)=((ZEH(1,k)+Zlih2)*Z5h(1,k))/(ZEH(1,k)+Zlih2+Z5h(1,k));
ZGh(1,k)=((ZFh(1,k)+Zlih2)*Z6h(1,k))/(ZFh(1,k)+Zlih2+Z6h(1,k));
ZMh(1,k)=Z7h(1,k);
ZNh(1,k)=((ZMh(1,k)+Zlih2)*Z6h(1,k))/(ZMh(1,k)+Zlih2+Z6h(1,k));
ZOh(1,k)=((ZNh(1,k)+Zlih2)*Z5h(1,k))/(ZNh(1,k)+Zlih2+Z5h(1,k));
ZPh(1,k)=((ZOh(1,k)+Zlih)*Z4h(1,k))/(ZOh(1,k)+Zlih+Z4h(1,k));
ZQh(1,k)=((ZPh(1,k)+Zlih)*Z3h(1,k))/(ZPh(1,k)+Zlih+Z3h(1,k));
ZRh(1,k)=((ZQh(1,k)+Zlih)*Z2h(1,k))/(ZQh(1,k)+Zlih+Z2h(1,k));
ZSh(1,k)=((ZRh(1,k)+Zlih)*Z1h(1,k))/(ZRh(1,k)+Zlih+Z1h(1,k));
ZMcaph(1,k)=Z7caph(1,k);

ZNcaph(1,k)=((ZMcaph(1,k)+Zlih2)*Z6h(1,k))/(ZMcaph(1,k)+Zlih2+Z6h(1,k));
ZOcaph(1,k)=((ZNcaph(1,k)+Zlih2)*Z5h(1,k))/(ZNcaph(1,k)+Zlih2+Z5h(1,k));
ZPcaph(1,k)=((ZOcaph(1,k)+Zlih)*Z4h(1,k))/(ZOcaph(1,k)+Zlih+Z4h(1,k));
ZQcaph(1,k)=((ZPcaph(1,k)+Zlih)*Z3h(1,k))/(ZPcaph(1,k)+Zlih+Z3h(1,k));
ZRcaph(1,k)=((ZQcaph(1,k)+Zlih)*Z2h(1,k))/(ZQcaph(1,k)+Zlih+Z2h(1,k));
ZScaph(1,k)=((ZRcaph(1,k)+Zlih)*Z1h(1,k))/(ZRcaph(1,k)+Zlih+Z1h(1,k));

% Impedancias vistas por cada poste sem insercao de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1(1,k)=ZAh(1,k)+Z2th;
Zloc1(1,k)=Z1h(1,k);
Zout1(1,k)=ZMh(1,k)+Zlih;
Zp1(1,k)=abs(1/((1/Zin1(1,k))+(1/Zloc1(1,k))+(1/Zout1(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 2
Zin2(1,k)=ZBh(1,k)+Zlih;
Zloc2(1,k)=Z2h(1,k);
Zout2(1,k)=ZNh(1,k)+Zlih;
Zp2(1,k)=abs(1/((1/Zin2(1,k))+(1/Zloc2(1,k))+(1/Zout2(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 3
Zin3(1,k)=ZCh(1,k)+Zlih;
Zloc3(1,k)=Z3h(1,k);
Zout3(1,k)=ZOh(1,k)+Zlih;
Zp3(1,k)=abs(1/((1/Zin3(1,k))+(1/Zloc3(1,k))+(1/Zout3(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 4
Zin4(1,k)=ZDh(1,k)+Zlih;
Zloc4(1,k)=Z4h(1,k);
Zout4(1,k)=ZPh(1,k)+Zlih;
Zp4(1,k)=abs(1/((1/Zin4(1,k))+(1/Zloc4(1,k))+(1/Zout4(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 5
Zin5(1,k)=ZEh(1,k)+Zlih2;
Zloc5(1,k)=Z5h(1,k);
Zout5(1,k)=ZQh(1,k)+Zlih2;
Zp5(1,k)=abs(1/((1/Zin5(1,k))+(1/Zloc5(1,k))+(1/Zout5(1,k))));

```

```

% Impedancias vistas do poste 6
Zin6(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
Zloc6(l,k)=Z6h(l,k);
Zout6(l,k)=ZRh(l,k)+Zlih2;
Zp6(l,k)=abs(1/((1/Zin6(l,k))+(1/Zloc6(l,k))+(1/Zout6(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 7
Zin7(l,k)=ZGh(l,k)+Zlih2;
Zloc7(l,k)=Z7h(l,k);
Zp7(l,k)=abs(1/((1/Zin7(l,k))+(1/Zloc7(l,k))));

% Impedancias vistas por cada poste com inserção de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1cap(l,k)=ZAh(l,k)+Z2th;
Zloc1cap(l,k)=Z1h(l,k);
Zout1cap(l,k)=ZMcaph(l,k)+Zlih;

Zp1cap(l,k)=abs(1/((1/Zin1cap(l,k))+(1/Zloc1cap(l,k))+(1/Zout1cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 2
Zin2cap(l,k)=ZBh(l,k)+Zlih;
Zloc2cap(l,k)=Z2h(l,k);
Zout2cap(l,k)=ZNcaph(l,k)+Zlih;

Zp2cap(l,k)=abs(1/((1/Zin2cap(l,k))+(1/Zloc2cap(l,k))+(1/Zout2cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 3
Zin3cap(l,k)=ZCh(l,k)+Zlih;
Zloc3cap(l,k)=Z3h(l,k);
Zout3cap(l,k)=ZOcaph(l,k)+Zlih;

Zp3cap(l,k)=abs(1/((1/Zin3cap(l,k))+(1/Zloc3cap(l,k))+(1/Zout3cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 4
Zin4cap(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;
Zloc4cap(l,k)=Z4h(l,k);
Zout4cap(l,k)=ZPcaph(l,k)+Zlih;

Zp4cap(l,k)=abs(1/((1/Zin4cap(l,k))+(1/Zloc4cap(l,k))+(1/Zout4cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 5
Zin5cap(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih;
Zloc5cap(l,k)=Z5h(l,k);
Zout5cap(l,k)=ZQcaph(l,k)+Zlih2;

Zp5cap(l,k)=abs(1/((1/Zin5cap(l,k))+(1/Zloc5cap(l,k))+(1/Zout5cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 6
Zin6cap(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
Zloc6cap(l,k)=Z6h(l,k);
Zout6cap(l,k)=ZRcaph(l,k)+Zlih2;

Zp6cap(l,k)=abs(1/((1/Zin6cap(l,k))+(1/Zloc6cap(l,k))+(1/Zout6cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 7
Zin7cap(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
Zloc7cap(l,k)=Z7caph(l,k);
Zp7cap(l,k)=abs(1/((1/Zin7cap(l,k))+(1/Zloc7cap(l,k))));

% Calculo da amplificação de impedancia com e sem inserção de capacitor
relZp1(l,k)=Zp1cap(l,k)/Zp1(l,k);
relZp2(l,k)=Zp2cap(l,k)/Zp2(l,k);
relZp3(l,k)=Zp3cap(l,k)/Zp3(l,k);
relZp4(l,k)=Zp4cap(l,k)/Zp4(l,k);
relZp5(l,k)=Zp5cap(l,k)/Zp5(l,k);
relZp6(l,k)=Zp6cap(l,k)/Zp6(l,k);
relZp7(l,k)=Zp7cap(l,k)/Zp7(l,k);

```

```

% Calculo das impedancias harmonicas do poste 5, 6, 7 E 8 para uma rede de
distribuição de 8 postes com e sem inserção de capacitores
elseif nposte==8

Z8h(1,k)=(((127^2/(P8(1,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P8
(1,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))));
Zcaph(1,k)=j*((60/F)*Xcap(1,k)+Xcorrehh);

Z5h(1,k)=(((127^2/(P5(1,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P5
(1,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))));

Z6h(1,k)=(((127^2/(P6(1,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P6
(1,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))));

Z7h(1,k)=(((127^2/(P7(1,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P7
(1,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))));
Z8caph(1,k)=Z8h(1,k)*Zcaph(1,k)/(Z8h(1,k)+Zcaph(1,k));
ZFh(1,k)=((ZEH(1,k)+Zlih2)*Z5h(1,k))/(ZEH(1,k)+Zlih2+Z5h(1,k));
ZGh(1,k)=((ZFh(1,k)+Zlih2)*Z6h(1,k))/(ZFh(1,k)+Zlih2+Z6h(1,k));
ZHH(1,k)=((ZGh(1,k)+Zlih2)*Z7h(1,k))/(ZGh(1,k)+Zlih2+Z7h(1,k));
ZLh(1,k)=Z8h(1,k);
ZMh(1,k)=((ZLh(1,k)+Zlih2)*Z7h(1,k))/(ZLh(1,k)+Zlih2+Z7h(1,k));
ZNh(1,k)=((ZMh(1,k)+Zlih2)*Z6h(1,k))/(ZMh(1,k)+Zlih2+Z6h(1,k));
ZOh(1,k)=((ZNh(1,k)+Zlih2)*Z5h(1,k))/(ZNh(1,k)+Zlih2+Z5h(1,k));
ZPh(1,k)=((ZOh(1,k)+Zlih)*Z4h(1,k))/(ZOh(1,k)+Zlih+Z4h(1,k));
ZQh(1,k)=((ZPh(1,k)+Zlih)*Z3h(1,k))/(ZPh(1,k)+Zlih+Z3h(1,k));
ZRh(1,k)=((ZQh(1,k)+Zlih)*Z2h(1,k))/(ZQh(1,k)+Zlih+Z2h(1,k));
ZSh(1,k)=((ZRh(1,k)+Zlih)*Z1fh(1,k))/(ZRh(1,k)+Zlih+Z1h(1,k));
ZLcaph(1,k)=Z8caph(1,k);

ZMcaph(1,k)=((ZLcaph(1,k)+Zlih2)*Z7h(1,k))/(ZLcaph(1,k)+Zlih2+Z7h(1,k));
ZNCaph(1,k)=((ZMcaph(1,k)+Zlih2)*Z6h(1,k))/(ZMcaph(1,k)+Zlih2+Z6h(1,k));
ZOCaph(1,k)=((ZNCaph(1,k)+Zlih2)*Z5h(1,k))/(ZNCaph(1,k)+Zlih2+Z5h(1,k));
ZPCaph(1,k)=((ZOCaph(1,k)+Zlih)*Z4h(1,k))/(ZOCaph(1,k)+Zlih+Z4h(1,k));
ZQCaph(1,k)=((ZPCaph(1,k)+Zlih)*Z3h(1,k))/(ZPCaph(1,k)+Zlih+Z3h(1,k));
ZRCaph(1,k)=((ZQCaph(1,k)+Zlih)*Z2h(1,k))/(ZQCaph(1,k)+Zlih+Z2h(1,k));
ZSCaph(1,k)=((ZRCaph(1,k)+Zlih)*Z1h(1,k))/(ZRCaph(1,k)+Zlih+Z1h(1,k));

% Impedancias vistas por cada poste sem inserção de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1(1,k)=ZAh(1,k)+Z2th;
Zloc1(1,k)=Z1h(1,k);
Zout1(1,k)=ZLh(1,k)+Zlih;
Zp1(1,k)=abs(1/((1/Zin1(1,k))+(1/Zloc1(1,k))+(1/Zout1(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 2
Zin2(1,k)=ZBh(1,k)+Zlih;
Zloc2(1,k)=Z2h(1,k);
Zout2(1,k)=ZMh(1,k)+Zlih;
Zp2(1,k)=abs(1/((1/Zin2(1,k))+(1/Zloc2(1,k))+(1/Zout2(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 3
Zin3(1,k)=ZCh(1,k)+Zlih;
Zloc3(1,k)=Z3h(1,k);
Zout3(1,k)=ZNh(1,k)+Zlih;
Zp3(1,k)=abs(1/((1/Zin3(1,k))+(1/Zloc3(1,k))+(1/Zout3(1,k))));

```

```

% Impedancias vistas do poste 4
Zin4(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;
Zloc4(l,k)=Z4h(l,k);
Zout4(l,k)=ZOh(l,k)+Zlih;
Zp4(l,k)=abs(1/((1/Zin4(l,k))+(1/Zloc4(l,k))+(1/Zout4(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 5
Zin5(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih2;
Zloc5(l,k)=Z5h(l,k);
Zout5(l,k)=ZPh(l,k)+Zlih2;
Zp5(l,k)=abs(1/((1/Zin5(l,k))+(1/Zloc5(l,k))+(1/Zout5(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 6
Zin6(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
Zloc6(l,k)=Z6h(l,k);
Zout6(l,k)=ZQh(l,k)+Zlih2;
Zp6(l,k)=abs(1/((1/Zin6(l,k))+(1/Zloc6(l,k))+(1/Zout6(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 7
Zin7(l,k)=ZGh(l,k)+Zlih2;
Zloc7(l,k)=Z7h(l,k);
Zout7(l,k)=ZRh(l,k)+Zlih2;
Zp7(l,k)=abs(1/((1/Zin7(l,k))+(1/Zloc7(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 8
Zin8(l,k)=ZHh(l,k)+Zlih2;
Zloc8(l,k)=Z8h(l,k);
Zp8(l,k)=abs(1/((1/Zin8(l,k))+(1/Zloc8(l,k))));

% Impedancias vistas por cada poste com inserção de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1cap(l,k)=ZAh(l,k)+Z2th;
Zloc1cap(l,k)=Zlfharh(l,k);
Zout1cap(l,k)=ZLcaph(l,k)+Zlih;

Zp1cap(l,k)=abs(1/((1/Zin1cap(l,k))+(1/Zloc1cap(l,k))+(1/Zout1cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 2
Zin2cap(l,k)=ZBh(l,k)+Zlih;
Zloc2cap(l,k)=Z2h(l,k);
Zout2cap(l,k)=ZMcaph(l,k)+Zlih;

Zp2cap(l,k)=abs(1/((1/Zin2cap(l,k))+(1/Zloc2cap(l,k))+(1/Zout2cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 3
Zin3cap(l,k)=ZCh(l,k)+Zlih;
Zloc3cap(l,k)=Z3h(l,k);
Zout3cap(l,k)=ZNcaph(l,k)+Zlih;

Zp3cap(l,k)=abs(1/((1/Zin3cap(l,k))+(1/Zloc3cap(l,k))+(1/Zout3cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 4
Zin4cap(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;
Zloc4cap(l,k)=Z4h(l,k);
Zout4cap(l,k)=ZOcaph(l,k)+Zlih;

Zp4cap(l,k)=abs(1/((1/Zin4cap(l,k))+(1/Zloc4cap(l,k))+(1/Zout4cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 5
Zin5cap(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih;
Zloc5cap(l,k)=Z5h(l,k);
Zout5cap(l,k)=ZPcaph(l,k)+Zlih2;

Zp5cap(l,k)=abs(1/((1/Zin5cap(l,k))+(1/Zloc5cap(l,k))+(1/Zout5cap(l,k))));

% Impedancias vistas do poste 6
Zin6cap(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
Zloc6cap(l,k)=Z6h(l,k);
Zout6cap(l,k)=ZQcaph(l,k)+Zlih2;

```

```

Zp6cap(l,k)=abs(1/((1/Zin6cap(l,k))+(1/Zloc6cap(l,k))+(1/Zout6cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 7
Zin7cap(l,k)=ZGh(l,k)+Zlih2;
Zloc7cap(l,k)=Z7h(l,k);
Zout7cap(l,k)=ZRcaph(l,k)+Zlih2;
Zp7cap(l,k)=abs(1/((1/Zin7cap(l,k))+(1/Zloc7cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 8
Zin8cap(l,k)=ZHH(l,k)+Zlih2;
Zloc8cap(l,k)=Z8caph(l,k);
Zp8cap(l,k)=abs(1/((1/Zin8cap(l,k))+(1/Zloc8cap(l,k))));
% Calculo da amplificacao de impedancia com e sem insercao de capacitor
relZp1(l,k)=Zp1cap(l,k)/Zp1(l,k);
relZp2(l,k)=Zp2cap(l,k)/Zp2(l,k);
relZp3(l,k)=Zp3cap(l,k)/Zp3(l,k);
relZp4(l,k)=Zp4cap(l,k)/Zp4(l,k);
relZp5(l,k)=Zp5cap(l,k)/Zp5(l,k);
relZp6(l,k)=Zp6cap(l,k)/Zp6(l,k);
relZp7(l,k)=Zp7cap(l,k)/Zp7(l,k);
relZp8(l,k)=Zp8cap(l,k)/Zp8(l,k);
% Calculo das impedancias harmonicas do poste 5, 6, 7, 8 e 9 para uma rede
de distribuicao de 9 postes com e sem insercao de capacitores
elseif nposte==9

Z9h(l,k)=(((127^2/(P9(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q9(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P9
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q9(l,k)*Zb)))));
Zcaph(l,k)=j*((60/F)*Xcap(l,k)+Xcorrehh);

Z5h(l,k)=(((127^2/(P5(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P5
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))));

Z6h(l,k)=(((127^2/(P6(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P6
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))));

Z7h(l,k)=(((127^2/(P7(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q7(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P7
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q7(l,k)*Zb)))));

Z8h(l,k)=(((127^2/(P8(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q8(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P8
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q8(l,k)*Zb)))));
Z9caph(l,k)=Z9h(l,k)*Zcaph(l,k)/(Z9h(l,k)+Zcaph(l,k));
ZFh(l,k)=((ZEH(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZEH(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));
ZGh(l,k)=((ZFh(l,k)+Zlih2)*Z6h(l,k))/(ZFh(l,k)+Zlih2+Z6h(l,k));
ZHH(l,k)=((ZGh(l,k)+Zlih2)*Z7h(l,k))/(ZGh(l,k)+Zlih2+Z7h(l,k));
ZIH(l,k)=((ZHH(l,k)+Zlih2)*Z8h(l,k))/(ZHH(l,k)+Zlih2+Z8h(l,k));
ZKh(l,k)=Z9h(l,k);
ZLh(l,k)=((ZKh(l,k)+Zlih2)*Z8h(l,k))/(ZKh(l,k)+Zlih2+Z8h(l,k));
ZMh(l,k)=((ZLh(l,k)+Zlih2)*Z7h(l,k))/(ZLh(l,k)+Zlih2+Z7h(l,k));
ZNh(l,k)=((ZMh(l,k)+Zlih2)*Z6h(l,k))/(ZMh(l,k)+Zlih2+Z6h(l,k));
ZOh(l,k)=((ZNh(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZNh(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));
ZPh(l,k)=((ZOh(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZOh(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));
ZQh(l,k)=((ZPh(l,k)+Zlih)*Z3h(l,k))/(ZPh(l,k)+Zlih+Z3h(l,k));
ZRh(l,k)=((ZQh(l,k)+Zlih)*Z2h(l,k))/(ZQh(l,k)+Zlih+Z2h(l,k));
ZSh(l,k)=((ZRh(l,k)+Zlih)*Z1h(l,k))/(ZRh(l,k)+Zlih+Z1h(l,k));
ZKcaph(l,k)=Z9caph(l,k);

ZLcaph(l,k)=((ZKcaph(l,k)+Zlih2)*Z8h(l,k))/(ZKcaph(l,k)+Zlih2+Z8h(l,k));

ZMcaph(l,k)=((ZLcaph(l,k)+Zlih2)*Z7h(l,k))/(ZLcaph(l,k)+Zlih2+Z7h(l,k));

ZNcaph(l,k)=((ZMcaph(l,k)+Zlih2)*Z6h(l,k))/(ZMcaph(l,k)+Zlih2+Z6h(l,k));

```

```

ZOcaph(1,k) = ((ZNcaph(1,k) + Zlih2) * Z5h(1,k)) / (ZNcaph(1,k) + Zlih2 + Z5h(1,k));

ZPcaph(1,k) = ((ZOcaph(1,k) + Zlih) * Z4h(1,k)) / (ZOcaph(1,k) + Zlih + Z4h(1,k));

ZQcaph(1,k) = ((ZPcaph(1,k) + Zlih) * Z3h(1,k)) / (ZPcaph(1,k) + Zlih + Z3h(1,k));

ZRcaph(1,k) = ((ZQcaph(1,k) + Zlih) * Z2h(1,k)) / (ZQcaph(1,k) + Zlih + Z2h(1,k));

ZScaph(1,k) = ((ZRcaph(1,k) + Zlih) * Z1h(1,k)) / (ZRcaph(1,k) + Zlih + Z1h(1,k));

% Impedancias vistas por cada poste sem insercao de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1(1,k) = ZAh(1,k) + Z2th;
Zloc1(1,k) = Z1h(1,k);
Zout1(1,k) = ZKh(1,k) + Zlih;
Zp1(1,k) = abs(1 / ((1/Zin1(1,k)) + (1/Zloc1(1,k)) + (1/Zout1(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 2
Zin2(1,k) = ZBh(1,k) + Zlih;
Zloc2(1,k) = Z2h(1,k);
Zout2(1,k) = ZLh(1,k) + Zlih;
Zp2(1,k) = abs(1 / ((1/Zin2(1,k)) + (1/Zloc2(1,k)) + (1/Zout2(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 3
Zin3(1,k) = ZCh(1,k) + Zlih;
Zloc3(1,k) = Z3h(1,k);
Zout3(1,k) = ZMh(1,k) + Zlih;
Zp3(1,k) = abs(1 / ((1/Zin3(1,k)) + (1/Zloc3(1,k)) + (1/Zout3(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 4
Zin4(1,k) = ZDh(1,k) + Zlih;
Zloc4(1,k) = Z4h(1,k);
Zout4(1,k) = ZNh(1,k) + Zlih;
Zp4(1,k) = abs(1 / ((1/Zin4(1,k)) + (1/Zloc4(1,k)) + (1/Zout4(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 5
Zin5(1,k) = ZEh(1,k) + Zlih2;
Zloc5(1,k) = Z5h(1,k);
Zout5(1,k) = ZOOh(1,k) + Zlih2;
Zp5(1,k) = abs(1 / ((1/Zin5(1,k)) + (1/Zloc5(1,k)) + (1/Zout5(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 6
Zin6(1,k) = ZFh(1,k) + Zlih2;
Zloc6(1,k) = Z6h(1,k);
Zout6(1,k) = ZPh(1,k) + Zlih2;
Zp6(1,k) = abs(1 / ((1/Zin6(1,k)) + (1/Zloc6(1,k)) + (1/Zout6(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 7
Zin7(1,k) = ZGh(1,k) + Zlih2;
Zloc7(1,k) = Z7h(1,k);
Zout7(1,k) = ZQh(1,k) + Zlih2;
Zp7(1,k) = abs(1 / ((1/Zin7(1,k)) + (1/Zloc7(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 8
Zin8(1,k) = ZHh(1,k) + Zlih2;
Zloc8(1,k) = Z8h(1,k);
Zout8(1,k) = ZRh(1,k) + Zlih2;
Zp8(1,k) = abs(1 / ((1/Zin8(1,k)) + (1/Zloc8(1,k))));

% Impedancias vistas do poste 9
Zin9(1,k) = ZIh(1,k) + Zlih2;
Zloc9(1,k) = Z9h(1,k);
Zp9(1,k) = abs(1 / ((1/Zin9(1,k)) + (1/Zloc9(1,k))));

% Impedancias vistas por cada poste com insercao de capacitores

```



```

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1cap(l,k)=ZAh(l,k)+Z2th;
Zloc1cap(l,k)=Z1h(l,k);
Zout1cap(l,k)=ZKcaph(l,k)+Zlih;

Zp1cap(l,k)=abs(1/((1/Zin1cap(l,k))+(1/Zloc1cap(l,k))+(1/Zout1cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 2
Zin2cap(l,k)=ZBh(l,k)+Zlih;
Zloc2cap(l,k)=Z2h(l,k);
Zout2cap(l,k)=ZLcaph(l,k)+Zlih;

Zp2cap(l,k)=abs(1/((1/Zin2cap(l,k))+(1/Zloc2cap(l,k))+(1/Zout2cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 3
Zin3cap(l,k)=ZCh(l,k)+Zlih;
Zloc3cap(l,k)=Z3h(l,k);
Zout3cap(l,k)=ZMcaph(l,k)+Zlih;

Zp3cap(l,k)=abs(1/((1/Zin3cap(l,k))+(1/Zloc3cap(l,k))+(1/Zout3cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 4
Zin4cap(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;
Zloc4cap(l,k)=Z4h(l,k);
Zout4cap(l,k)=ZNcaph(l,k)+Zlih;

Zp4cap(l,k)=abs(1/((1/Zin4cap(l,k))+(1/Zloc4cap(l,k))+(1/Zout4cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 5
Zin5cap(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih;
Zloc5cap(l,k)=Z5h(l,k);
Zout5cap(l,k)=ZOcaph(l,k)+Zlih2;

Zp5cap(l,k)=abs(1/((1/Zin5cap(l,k))+(1/Zloc5cap(l,k))+(1/Zout5cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 6
Zin6cap(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
Zloc6cap(l,k)=Z6h(l,k);
Zout6cap(l,k)=ZPcaph(l,k)+Zlih2;

Zp6cap(l,k)=abs(1/((1/Zin6cap(l,k))+(1/Zloc6cap(l,k))+(1/Zout6cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 7
Zin7cap(l,k)=ZGh(l,k)+Zlih2;
Zloc7cap(l,k)=Z7h(l,k);
Zout7cap(l,k)=ZQcaph(l,k)+Zlih2;
Zp7cap(l,k)=abs(1/((1/Zin7cap(l,k))+(1/Zloc7cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 8
Zin8cap(l,k)=ZHh(l,k)+Zlih2;
Zloc8cap(l,k)=Z8caph(l,k);
Zout8cap(l,k)=ZRcaph(l,k)+Zlih2;
Zp8cap(l,k)=abs(1/((1/Zin8cap(l,k))+(1/Zloc8cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 9
Zin9cap(l,k)=ZHh(l,k)+Zlih2;
Zloc9cap(l,k)=Z9caph(l,k);
Zp9cap(l,k)=abs(1/((1/Zin9cap(l,k))+(1/Zloc9cap(l,k))));
% Calculo da amplificacao de impedancia com e sem insercao de capacitor
relZp1(l,k)=Zp1cap(l,k)/Zp1(l,k);
relZp2(l,k)=Zp2cap(l,k)/Zp2(l,k);
relZp3(l,k)=Zp3cap(l,k)/Zp3(l,k);
relZp4(l,k)=Zp4cap(l,k)/Zp4(l,k);
relZp5(l,k)=Zp5cap(l,k)/Zp5(l,k);
relZp6(l,k)=Zp6cap(l,k)/Zp6(l,k);
relZp7(l,k)=Zp7cap(l,k)/Zp7(l,k);
relZp8(l,k)=Zp8cap(l,k)/Zp8(l,k);
relZp9(l,k)=Zp9cap(l,k)/Zp9(l,k);

```

```

% Calculo das impedancias harmonicas do poste 5, 6, 7, 8, 9 E 10 para uma
rede de distribuicao de 10 postes com e sem insercao de capacitores
else

Z10h(l,k)=(((127^2/(P10(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q10(l,k)*Zb)))/(((127^2/
(P10(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q10(l,k)*Zb)))));
Zcaph(l,k)=j*((60/F)*Xcap(l,k)+Xcorrehh);

Z5h(l,k)=(((127^2/(P5(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P5
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q5(l,k)*Zb)))));

Z6h(l,k)=(((127^2/(P6(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P6
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q6(l,k)*Zb)))));

Z7h(l,k)=(((127^2/(P7(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q7(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P7
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q7(l,k)*Zb)))));

Z8h(l,k)=(((127^2/(P8(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q8(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P8
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q8(l,k)*Zb)))));

Z9h(l,k)=(((127^2/(P9(l,k)*Zb))*j*(F/60)*(127^2/(Q9(l,k)*Zb)))/(((127^2/(P9
(l,k)*Zb))+j*(F/60)*(127^2/(Q9(l,k)*Zb)))));
Z10caph(l,k)=Z10h(l,k)*Zcaph(l,k)/(Z10h(l,k)+Zcaph(l,k));
ZFh(l,k)=((ZEH(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZEH(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));
ZGh(l,k)=((ZFh(l,k)+Zlih2)*Z6h(l,k))/(ZFh(l,k)+Zlih2+Z6h(l,k));
ZHH(l,k)=((ZGh(l,k)+Zlih2)*Z7h(l,k))/(ZGh(l,k)+Zlih2+Z7h(l,k));
ZIH(l,k)=((ZHH(l,k)+Zlih2)*Z8h(l,k))/(ZHH(l,k)+Zlih2+Z8h(l,k));
ZJh(l,k)=Z10h(l,k);
ZKh(l,k)=((ZJh(l,k)+Zlih2)*Z9h(l,k))/(ZJh(l,k)+Zlih2+Z9h(l,k));
ZLh(l,k)=((ZKh(l,k)+Zlih2)*Z8h(l,k))/(ZKh(l,k)+Zlih2+Z8h(l,k));
ZMh(l,k)=((ZLh(l,k)+Zlih2)*Z7h(l,k))/(ZLh(l,k)+Zlih2+Z7h(l,k));
ZNh(l,k)=((ZMh(l,k)+Zlih2)*Z6h(l,k))/(ZMh(l,k)+Zlih2+Z6h(l,k));
ZOh(l,k)=((ZNh(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZNh(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));
ZPh(l,k)=((ZOh(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZOh(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));
ZQh(l,k)=((ZPh(l,k)+Zlih)*Z3h(l,k))/(ZPh(l,k)+Zlih+Z3h(l,k));
ZRh(l,k)=((ZQh(l,k)+Zlih)*Z2h(l,k))/(ZQh(l,k)+Zlih+Z2h(l,k));
ZSh(l,k)=((ZRh(l,k)+Zlih)*Z1h(l,k))/(ZRh(l,k)+Zlih+Z1h(l,k));
ZJcaph(l,k)=Z10caph(l,k);

ZKcaph(l,k)=((ZJcaph(l,k)+Zlih2)*Z9h(l,k))/(ZJcaph(l,k)+Zlih2+Z9h(l,k));

ZLcaph(l,k)=((ZKcaph(l,k)+Zlih2)*Z8h(l,k))/(ZKcaph(l,k)+Zlih2+Z8h(l,k));

ZMcaph(l,k)=((ZLcaph(l,k)+Zlih2)*Z7h(l,k))/(ZLcaph(l,k)+Zlih2+Z7h(l,k));

ZNcaph(l,k)=((ZMcaph(l,k)+Zlih2)*Z6h(l,k))/(ZMcaph(l,k)+Zlih2+Z6h(l,k));

ZOcaph(l,k)=((ZNcaph(l,k)+Zlih2)*Z5h(l,k))/(ZNcaph(l,k)+Zlih2+Z5h(l,k));

ZPcaph(l,k)=((ZOcaph(l,k)+Zlih)*Z4h(l,k))/(ZOcaph(l,k)+Zlih+Z4h(l,k));

ZQcaph(l,k)=((ZPcaph(l,k)+Zlih)*Z3h(l,k))/(ZPcaph(l,k)+Zlih+Z3h(l,k));

ZRcaph(l,k)=((ZQcaph(l,k)+Zlih)*Z2h(l,k))/(ZQcaph(l,k)+Zlih+Z2h(l,k));

ZScaph(l,k)=((ZRcaph(l,k)+Zlih)*Z1h(l,k))/(ZRcaph(l,k)+Zlih+Z1h(l,k));

% Impedancias vistas por cada poste sem insercao de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
Zin1(l,k)=ZAh(l,k)+Z2th;

```

```

        Zloc1(l,k)=Z1h(l,k);
        Zout1(l,k)=ZJh(l,k)+Zlih;
        Zp1(l,k)=abs(1/((1/Zin1(l,k))+(1/Zloc1(l,k))+(1/Zout1(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 2
        Zin2(l,k)=ZBh(l,k)+Zlih;
        Zloc2(l,k)=Z2h(l,k);
        Zout2(l,k)=ZKh(l,k)+Zlih;
        Zp2(l,k)=abs(1/((1/Zin2(l,k))+(1/Zloc2(l,k))+(1/Zout2(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 3
        Zin3(l,k)=ZCh(l,k)+Zlih;
        Zloc3(l,k)=Z3h(l,k);
        Zout3(l,k)=ZLh(l,k)+Zlih;
        Zp3(l,k)=abs(1/((1/Zin3(l,k))+(1/Zloc3(l,k))+(1/Zout3(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 4
        Zin4(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;
        Zloc4(l,k)=Z4h(l,k);
        Zout4(l,k)=ZMh(l,k)+Zlih;
        Zp4(l,k)=abs(1/((1/Zin4(l,k))+(1/Zloc4(l,k))+(1/Zout4(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 5
        Zin5(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih2;
        Zloc5(l,k)=Z5h(l,k);
        Zout5(l,k)=ZNh(l,k)+Zlih2;
        Zp5(l,k)=abs(1/((1/Zin5(l,k))+(1/Zloc5(l,k))+(1/Zout5(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 6
        Zin6(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
        Zloc6(l,k)=Z6h(l,k);
        Zout6(l,k)=ZOh(l,k)+Zlih2;
        Zp6(l,k)=abs(1/((1/Zin6(l,k))+(1/Zloc6(l,k))+(1/Zout6(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 7
        Zin7(l,k)=ZGh(l,k)+Zlih2;
        Zloc7(l,k)=Z7h(l,k);
        Zout7(l,k)=ZPh(l,k)+Zlih2;
        Zp7(l,k)=abs(1/((1/Zin7(l,k))+(1/Zloc7(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 8
        Zin8(l,k)=ZHH(l,k)+Zlih2;
        Zloc8(l,k)=Z8h(l,k);
        Zout8(l,k)=ZQh(l,k)+Zlih2;
        Zp8(l,k)=abs(1/((1/Zin8(l,k))+(1/Zloc8(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 9
        Zin9(l,k)=ZIh(l,k)+Zlih2;
        Zloc9(l,k)=Z9h(l,k);
        Zout9(l,k)=ZRh(l,k)+Zlih2;
        Zp9(l,k)=abs(1/((1/Zin9(l,k))+(1/Zloc9(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 10
        Zin10(l,k)=ZJh(l,k)+Zlih2;
        Zloc10(l,k)=Z10h(l,k);
        Zp10(l,k)=abs(1/((1/Zin10(l,k))+(1/Zloc10(l,k))));

% Impedancias vistas por cada poste com inserção de capacitores

% Impedancias vistas do poste 1
        Zin1cap(l,k)=ZAh(l,k)+Z2th;
        Zloc1cap(l,k)=Z1h(l,k);
        Zout1cap(l,k)=ZJcaph(l,k)+Zlih;

Zp1cap(l,k)=abs(1/((1/Zin1cap(l,k))+(1/Zloc1cap(l,k))+(1/Zout1cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 2
        Zin2cap(l,k)=ZBh(l,k)+Zlih;
        Zloc2cap(l,k)=Z2h(l,k);
        Zout2cap(l,k)=ZKcaph(l,k)+Zlih;

```

```

Zp2cap(l,k)=abs(1/((1/Zin2cap(l,k))+(1/Zloc2cap(l,k))+(1/Zout2cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 3
    Zin3cap(l,k)=ZCh(l,k)+Zlih;
    Zloc3cap(l,k)=Z3h(l,k);
    Zout3cap(l,k)=ZLcaph(l,k)+Zlih;

Zp3cap(l,k)=abs(1/((1/Zin3cap(l,k))+(1/Zloc3cap(l,k))+(1/Zout3cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 4
    Zin4cap(l,k)=ZDh(l,k)+Zlih;
    Zloc4cap(l,k)=Z4h(l,k);
    Zout4cap(l,k)=ZMcaph(l,k)+Zlih;

Zp4cap(l,k)=abs(1/((1/Zin4cap(l,k))+(1/Zloc4cap(l,k))+(1/Zout4cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 5
    Zin5cap(l,k)=ZEh(l,k)+Zlih;
    Zloc5cap(l,k)=Z5h(l,k);
    Zout5cap(l,k)=ZNCaph(l,k)+Zlih2;

Zp5cap(l,k)=abs(1/((1/Zin5cap(l,k))+(1/Zloc5cap(l,k))+(1/Zout5cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 6
    Zin6cap(l,k)=ZFh(l,k)+Zlih2;
    Zloc6cap(l,k)=Z6h(l,k);
    Zout6cap(l,k)=ZOCaph(l,k)+Zlih2;

Zp6cap(l,k)=abs(1/((1/Zin6cap(l,k))+(1/Zloc6cap(l,k))+(1/Zout6cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 7
    Zin7cap(l,k)=ZGh(l,k)+Zlih2;
    Zloc7cap(l,k)=Z7h(l,k);
    Zout7cap(l,k)=ZPCaph(l,k)+Zlih2;
    Zp7cap(l,k)=abs(1/((1/Zin7cap(l,k))+(1/Zloc7cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 8
    Zin8cap(l,k)=ZHH(l,k)+Zlih2;
    Zloc8cap(l,k)=Z8h(l,k);
    Zout8cap(l,k)=ZQCaph(l,k)+Zlih2;
    Zp8cap(l,k)=abs(1/((1/Zin8cap(l,k))+(1/Zloc8cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 9
    Zin9cap(l,k)=ZHH(l,k)+Zlih2;
    Zloc9cap(l,k)=Z9h(l,k);
    Zout9cap(l,k)=ZRCaph(l,k)+Zlih2;
    Zp9cap(l,k)=abs(1/((1/Zin9cap(l,k))+(1/Zloc9cap(l,k))));
% Impedancias vistas do poste 10
    Zin10cap(l,k)=ZHH(l,k)+Zlih2;
    Zloc10cap(l,k)=Z10h(l,k);
    Zp10cap(l,k)=abs(1/((1/Zin10cap(l,k))+(1/Zloc10cap(l,k))));
% Calculo da amplificacao de impedancia com e sem insercao de capacitor
    relZp1(l,k)=Zp1cap(l,k)/Zp1(l,k);
    relZp2(l,k)=Zp2cap(l,k)/Zp2(l,k);
    relZp3(l,k)=Zp3cap(l,k)/Zp3(l,k);
    relZp4(l,k)=Zp4cap(l,k)/Zp4(l,k);
    relZp5(l,k)=Zp5cap(l,k)/Zp5(l,k);
    relZp6(l,k)=Zp6cap(l,k)/Zp6(l,k);
    relZp7(l,k)=Zp7cap(l,k)/Zp7(l,k);
    relZp8(l,k)=Zp8cap(l,k)/Zp8(l,k);
    relZp9(l,k)=Zp9cap(l,k)/Zp9(l,k);
    relZp10(l,k)=Zp10cap(l,k)/Zp10(l,k);

relZp(1,l,k)=relZp1(l,k);
relZp(2,l,k)=relZp2(l,k);
relZp(3,l,k)=relZp3(l,k);

```

```

relZp(4,1,k)=relZp4(1,k);
relZp(5,1,k)=relZp5(1,k);
relZp(6,1,k)=relZp6(1,k);
relZp(7,1,k)=relZp7(1,k);
relZp(8,1,k)=relZp8(1,k);
relZp(9,1,k)=relZp9(1,k);
relZp(10,1,k)=relZp10(1,k);
    end
end
end

```

```

save traf.mat SN R1t L1t R2t L2t Lm Rm
save lin.mat Vf L1 L2 R1 R2 dep
save perc.mat SP1 SP2 SP3 SP4 SP5 SP6 SP7 SP8 SP9 SP10
save entrada.mat nposte h corre LC Vcomp
sav= input('Se deseja salvar os dados gerais da simulação digite "0", se
não digite "1"          ') ;
sav= input('Se desejar salvar os dados, digite save nome do arquivo.mat
') ;

```

Função para correção de tensão ao longo da linha.

```

function
[VCn,V1efcapn,V2efcapn,V3efcapn,V4efcapn,V5efcapn,V6efcapn,V7efcapn,V8efcap
n,V9efcapn,V10efcapn,Cap2] =
correcao(P1,P2,P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,Q6,Q7,Q8,Q9,Q10,f,Rf
,Lf,Rli,Rli2,Lli,Lli2,Zb,Zm,Zf,Z1t,Z2t,ZFT,Zli,Zli2,Vmincap,nposte,Vf,Ncap,
Cbanco,corre,LC,Rm,h,Lm,R1t,R2t,L1t,L2t,Lfiltro,Cfiltro,Ll,dep,Cap,Vth,V10e
fcap);
%Recalcula os valores de VC, Vh, Vhh com inserção de um novo banco apos a
correção inicial.

for k=1:12;
for l=1:12;
Z1(1,k)=(((127^2/(P1(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q1(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P1(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q1(1,k)*Zb)))));
Z2(1,k)=(((127^2/(P2(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q2(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P2(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q2(1,k)*Zb)))));
Z3(1,k)=(((127^2/(P3(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q3(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P3(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q3(1,k)*Zb)))));
Z4(1,k)=(((127^2/(P4(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q4(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P4(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q4(1,k)*Zb)))));
Z5(1,k)=(((127^2/(P5(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P5(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))));
Z6(1,k)=(((127^2/(P6(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P6(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))));
Z7(1,k)=(((127^2/(P7(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P7(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))));
Z8(1,k)=(((127^2/(P8(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P8(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))));
Z9(1,k)=(((127^2/(P9(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q9(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P9(1,k)*Zb
))+j*(127^2/(Q9(1,k)*Zb)))));
Z10(1,k)=(((127^2/(P10(1,k)*Zb))*j*(127^2/(Q10(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P10(1,k
)*Zb))+j*(127^2/(Q10(1,k)*Zb)))));
if nposte==5
    Z6(1,k)=1e+10;
    Z7(1,k)=1e+10;
    Z8(1,k)=1e+10;
    Z9(1,k)=1e+10;
    Z10(1,k)=1e+10;
elseif nposte==6
    Z7(1,k)=1e+10;

```

```

    Z8(l,k)=1e+10;
    Z9(l,k)=1e+10;
    Z10(l,k)=1e+10;
elseif nposte==7
    Z8(l,k)=1e+10;
    Z9(l,k)=1e+10;
    Z10(l,k)=1e+10;
elseif nposte==8
    Z9(l,k)=1e+10;
    Z10(l,k)=1e+10;
elseif nposte==9
    Z10(l,k)=1e+10;

end
ZA=((Zf+Z1t)*Zm)/(Zf+Z1t+Zm);
ZB(l,k)=((ZA+Z2t)*Z1(l,k))/(ZA+Z2t+Z1(l,k));
ZC(l,k)=((ZB(l,k)+Zli)*Z2(l,k))/(ZB(l,k)+Zli+Z2(l,k));
ZD(l,k)=((ZC(l,k)+Zli)*Z3(l,k))/(ZC(l,k)+Zli+Z3(l,k));
ZE(l,k)=((ZD(l,k)+Zli)*Z4(l,k))/(ZD(l,k)+Zli+Z4(l,k));
ZF(l,k)=((ZE(l,k)+Zli)*Z5(l,k))/(ZE(l,k)+Zli+Z5(l,k));
ZG(l,k)=((ZF(l,k)+Zli2)*Z6(l,k))/(ZF(l,k)+Zli2+Z6(l,k));
ZH(l,k)=((ZG(l,k)+Zli2)*Z7(l,k))/(ZG(l,k)+Zli2+Z7(l,k));
ZI(l,k)=((ZH(l,k)+Zli2)*Z8(l,k))/(ZH(l,k)+Zli2+Z8(l,k));
ZJ(l,k)=((ZI(l,k)+Zli2)*Z9(l,k))/(ZI(l,k)+Zli2+Z9(l,k));
ZK(l,k)=((Z10(l,k)+Zli2)*Z9(l,k))/(Z10(l,k)+Zli2+Z9(l,k));
ZL(l,k)=((ZK(l,k)+Zli2)*Z8(l,k))/(ZK(l,k)+Zli2+Z8(l,k));
ZM(l,k)=((ZL(l,k)+Zli2)*Z7(l,k))/(ZL(l,k)+Zli2+Z7(l,k));
ZN(l,k)=((ZM(l,k)+Zli2)*Z6(l,k))/(ZM(l,k)+Zli2+Z6(l,k));
ZO(l,k)=((ZN(l,k)+Zli2)*Z5(l,k))/(ZN(l,k)+Zli2+Z5(l,k));
ZP(l,k)=((ZO(l,k)+Zli)*Z4(l,k))/(ZO(l,k)+Zli+Z4(l,k));
ZQ(l,k)=((ZP(l,k)+Zli)*Z3(l,k))/(ZP(l,k)+Zli+Z3(l,k));
ZR(l,k)=((ZQ(l,k)+Zli)*Z2(l,k))/(ZQ(l,k)+Zli+Z2(l,k));
ZS(l,k)=((ZR(l,k)+Zli)*Z1(l,k))/(ZR(l,k)+Zli+Z1(l,k));
ZT(l,k)=ZS(l,k)+ZFT;
% Calculo das tensoes e correntes em cada poste sem insercao de capacitores
IT(l,k)=Vth/ZT(l,k);
ITef(l,k)=abs(IT(l,k));
FI(l,k)=angle(IT(l,k))*180/pi;
V1(l,k)=ZS(l,k)*IT(l,k);
V1ef(l,k)=abs(V1(l,k));
I1(l,k)=V1(l,k)/Z1(l,k);
IL(l,k)=IT(l,k)-I1(l,k);
ILef(l,k)=abs(IL(l,k));
V2(l,k)=ZR(l,k)*IL(l,k);
V2ef(l,k)=abs(V2(l,k));
I2(l,k)=V2(l,k)/Z2(l,k);
IK(l,k)=IL(l,k)-I2(l,k);
V3(l,k)=ZQ(l,k)*IK(l,k);
V3ef(l,k)=abs(V3(l,k));
I3(l,k)=V3(l,k)/Z3(l,k);
IJ(l,k)=IK(l,k)-I3(l,k);
V4(l,k)=ZP(l,k)*IJ(l,k);
V4ef(l,k)=abs(V4(l,k));
I4(l,k)=V4(l,k)/Z4(l,k);
II(l,k)=IJ(l,k)-I4(l,k);
V5(l,k)=ZO(l,k)*II(l,k);
V5ef(l,k)=abs(V5(l,k));
I5(l,k)=V5(l,k)/Z5(l,k);
IH(l,k)=II(l,k)-I5(l,k);
V6(l,k)=ZN(l,k)*IH(l,k);
V6ef(l,k)=abs(V6(l,k));

```

```

I6(l,k)=V6(l,k)/Z6(l,k);
IG(l,k)=IH(l,k)-I6(l,k);
V7(l,k)=ZM(l,k)*IG(l,k);
V7ef(l,k)=abs(V7(l,k));
I7(l,k)=V7(l,k)/Z7(l,k);
IF(l,k)=IG(l,k)-I7(l,k);
V8(l,k)=ZL(l,k)*IF(l,k);
V8ef(l,k)=abs(V8(l,k));
I8(l,k)=V8(l,k)/Z8(l,k);
IE(l,k)=IF(l,k)-I8(l,k);
V9(l,k)=ZK(l,k)*IE(l,k);
V9ef(l,k)=abs(V9(l,k));
I9(l,k)=V9(l,k)/Z9(l,k);
I10(l,k)=IE(l,k)-I9(l,k);
V10(l,k)=Z10(l,k)*I10(l,k);
V10ef(l,k)=abs(V10(l,k));

% Matriz das tensões ampliada
V(1,l,k)=V1ef(l,k);
V(2,l,k)=V2ef(l,k);
V(3,l,k)=V3ef(l,k);
V(4,l,k)=V4ef(l,k);
V(5,l,k)=V5ef(l,k);
V(6,l,k)=V6ef(l,k);
V(7,l,k)=V7ef(l,k);
V(8,l,k)=V8ef(l,k);
V(9,l,k)=V9ef(l,k);
V(10,l,k)=V10ef(l,k);

% Calculo do banco de capacitores para corrigir a tensao eficaz
ncap=(Ncap*1e-6)/Cbanco;
Lcorre=1/(4*pi*pi*f*f*Cbanco);
if corre==1
    Xcorre=-(1/(2*pi*f*Cbanco))/Zb;
else
    Xcorre=0;
end
Nbanco(l,k)=0;
Cb=Cbanco;
Cap2(l,k)=Cap(l,k);
V4efcapn(l,k)=V4ef(l,k);
V5efcapn(l,k)=V5ef(l,k);
V6efcapn(l,k)=V6ef(l,k);
V7efcapn(l,k)=V7ef(l,k);
V8efcapn(l,k)=V8ef(l,k);
V9efcapn(l,k)=V9ef(l,k);
V10efcapn(l,k)=V10ef(l,k);

if nposte==10
    Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
elseif nposte==9
    Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9];
elseif nposte==8
    Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7 8];
elseif nposte==7
    Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
    np = [1 2 3 4 5 6 7];
elseif nposte==6

```

```

        Vcompa(l,k)=V4efcapn(l,k);
        np = [1 2 3 4 5 6];
    else
        Vcompa(l,k)=V3efcapn(l,k);
        np = [1 2 3 4 5];
    end
    Vmincapn=Vmincap;
    for kcl=1:10:30
        if nposte==10
            Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
            np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
        elseif nposte==9
            Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
            np = [1 2 3 4 5 6 7 8 9];
        elseif nposte==8
            Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
            np = [1 2 3 4 5 6 7 8];
        elseif nposte==7
            Vcompa(l,k)=V5efcapn(l,k);
            np = [1 2 3 4 5 6 7];
        elseif nposte==6
            Vcompa(l,k)=V4efcapn(l,k);
            np = [1 2 3 4 5 6];
        else
            Vcompa(l,k)=V3efcapn(l,k);
            np = [1 2 3 4 5];
        end
        if LC==1
            Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
            Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
            Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
            Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
            Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
            Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
            Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
            Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
            Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
            if Vcompa(l,k)<0.915
                Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
                Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
                Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

            Z1cap(l,k)=Z1(l,k)*Zcap(l,k)/(Z1(l,k)+Zcap(l,k));
            Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
            else
                Cap2(l,k)=Cap(l,k);
                Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
                Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

            Z1cap(l,k)=Z1(l,k)*Zcap(l,k)/(Z1(l,k)+Zcap(l,k));
            end
            Z1cap(l,k)=Z1cap(l,k);

        elseif LC==2
            Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
            Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
            Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
            Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
            Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
            Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
            Z8cap(l,k)=Z8(l,k);

```



```

Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcompa(l,k)<0.915
        Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z2cap(l,k)=Z2(l,k)*Zcap(l,k)/(Z2(l,k)+Zcap(l,k));
        Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap2(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z2cap(l,k)=Z2(l,k)*Zcap(l,k)/(Z2(l,k)+Zcap(l,k));
    end
elseif LC==3
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
        if Vcompa(l,k)<0.915
            Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
            Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
            Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z3cap(l,k)=Z3(l,k)*Zcap(l,k)/(Z3(l,k)+Zcap(l,k));
            Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
            controlo=1;
        else
            Cap2(l,k)=Cap(l,k);
            Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
            Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z3cap(l,k)=Z3(l,k)*Zcap(l,k)/(Z3(l,k)+Zcap(l,k));
        end
elseif LC==4
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
        if Vcompa(l,k)<0.915
            Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
            Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
            Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z4cap(l,k)=Z4(l,k)*Zcap(l,k)/(Z4(l,k)+Zcap(l,k));
            Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
        else
            Cap2(l,k)=Cap(l,k);
            Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;

```

```

Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z4cap(l,k)=Z4(l,k)*Zcap(l,k)/(Z4(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==5
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcompa(l,k)<0.915
        Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z5cap(l,k)=Z5(l,k)*Zcap(l,k)/(Z5(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap2(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z5cap(l,k)=Z5(l,k)*Zcap(l,k)/(Z5(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==6
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcompa(l,k)<0.915
        Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z6cap(l,k)=Z6(l,k)*Zcap(l,k)/(Z6(l,k)+Zcap(l,k));
Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap2(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z6cap(l,k)=Z6(l,k)*Zcap(l,k)/(Z6(l,k)+Zcap(l,k));
end
elseif LC==7
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);

```

```

Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcompa(l,k)<0.915
        Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap2(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z7cap(l,k)=Z7(l,k)*Zcap(l,k)/(Z7(l,k)+Zcap(l,k));
    Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap2(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap2(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z7cap(l,k)=Z7(l,k)*Zcap(l,k)/(Z7(l,k)+Zcap(l,k));
    end
elseif LC==8
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z9cap(l,k)=Z9(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcompa(l,k)<0.915
        Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap2(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z8cap(l,k)=Z8(l,k)*Zcap(l,k)/(Z8(l,k)+Zcap(l,k));
    Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap2(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap2(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

Z8cap(l,k)=Z8(l,k)*Zcap(l,k)/(Z8(l,k)+Zcap(l,k));
    end
elseif LC==9
    Z1cap(l,k)=Z1(l,k);
    Z2cap(l,k)=Z2(l,k);
    Z3cap(l,k)=Z3(l,k);
    Z4cap(l,k)=Z4(l,k);
    Z5cap(l,k)=Z5(l,k);
    Z6cap(l,k)=Z6(l,k);
    Z7cap(l,k)=Z7(l,k);
    Z8cap(l,k)=Z8(l,k);
    Z10cap(l,k)=Z10(l,k);
    if Vcompa(l,k)<0.915
        Cap2(l,k)=Cap2(l,k)+(Cbase*1e-6);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap2(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*(Xcap(l,k)+Xcorre);

Z9cap(l,k)=Z9(l,k)*Zcap(l,k)/(Z9(l,k)+Zcap(l,k));
    Nbanco(l,k)=Nbanco(l,k)+1;
    else
        Cap2(l,k)=Cap(l,k);
        Xcap(l,k)=-(1/(2*pi*f*Cap2(l,k)))/Zb;
        Zcap(l,k)=j*Xcap(l,k);

```

```

Z9cap(1,k)=Z9(1,k)*Zcap(1,k)/(Z9(1,k)+Zcap(1,k));
end
else
    Z1cap(1,k)=Z1(1,k);
    Z2cap(1,k)=Z2(1,k);
    Z3cap(1,k)=Z3(1,k);
    Z4cap(1,k)=Z4(1,k);
    Z5cap(1,k)=Z5(1,k);
    Z6cap(1,k)=Z6(1,k);
    Z7cap(1,k)=Z7(1,k);
    Z8cap(1,k)=Z8(1,k);
    Z9cap(1,k)=Z9(1,k);
    if Vcompa(1,k)<0.915
        Cap2(1,k)=Cap2(1,k)+(Cbase*1e-6);
        Xcap(1,k)=-(1/(2*pi*f*Cap2(1,k)))/Zb;
        Zcap(1,k)=j*(Xcap(1,k)+Xcorre);

Z10cap(1,k)=Z10(1,k)*Zcap(1,k)/(Z10(1,k)+Zcap(1,k));
    Nbanco(1,k)=Nbanco(1,k)+1;
    else
        Cap2(1,k)=Cap(1,k);
        Xcap(1,k)=-(1/(2*pi*f*Cap(1,k)))/Zb;
        Zcap(1,k)=j*Xcap(1,k);

Z10cap(1,k)=Z10(1,k)*Zcap(1,k)/(Z10(1,k)+Zcap(1,k));
    end
end

% Calculo das impedancias do sistema de distribuicao com insercao de
% capacitores
ZA=((Zf+Z1t)*Zm)/(Zf+Z1t+Zm);
ZBcap(1,k)=((ZA+Z2t)*Z1cap(1,k))/(ZA+Z2t+Z1cap(1,k));
ZCcap(1,k)=((ZBcap(1,k)+Z1i)*Z2cap(1,k))/(ZBcap(1,k)+Z1i+Z2cap(1,k));
ZDcap(1,k)=((ZCcap(1,k)+Z1i)*Z3cap(1,k))/(ZCcap(1,k)+Z1i+Z3(1,k));
ZEcap(1,k)=((ZDcap(1,k)+Z1i)*Z4cap(1,k))/(ZDcap(1,k)+Z1i+Z4cap(1,k));
ZFcap(1,k)=((ZEcap(1,k)+Z1i)*Z5cap(1,k))/(ZEcap(1,k)+Z1i+Z5cap(1,k));
ZGcap(1,k)=((ZFcap(1,k)+Z1i2)*Z6cap(1,k))/(ZFcap(1,k)+Z1i2+Z6cap(1,k));
ZHcap(1,k)=((ZGcap(1,k)+Z1i2)*Z7cap(1,k))/(ZGcap(1,k)+Z1i2+Z7cap(1,k));
ZIcap(1,k)=((ZHcap(1,k)+Z1i2)*Z8cap(1,k))/(ZHcap(1,k)+Z1i2+Z8cap(1,k));
ZJcap(1,k)=((ZIcap(1,k)+Z1i2)*Z9cap(1,k))/(ZIcap(1,k)+Z1i2+Z9cap(1,k));
ZKcap(1,k)=((Z10cap(1,k)+Z1i2)*Z9cap(1,k))/(Z10cap(1,k)+Z1i2+Z9cap(1,k));
ZLcap(1,k)=((ZKcap(1,k)+Z1i2)*Z8cap(1,k))/(ZKcap(1,k)+Z1i2+Z8cap(1,k));
ZMcap(1,k)=((ZLcap(1,k)+Z1i2)*Z7cap(1,k))/(ZLcap(1,k)+Z1i2+Z7cap(1,k));
ZNcap(1,k)=((ZMcap(1,k)+Z1i2)*Z6cap(1,k))/(ZMcap(1,k)+Z1i2+Z6cap(1,k));
ZOcap(1,k)=((ZNcap(1,k)+Z1i2)*Z5cap(1,k))/(ZNcap(1,k)+Z1i2+Z5cap(1,k));
ZPcap(1,k)=((ZOcap(1,k)+Z1i)*Z4cap(1,k))/(ZOcap(1,k)+Z1i+Z4cap(1,k));
ZQcap(1,k)=((ZPcap(1,k)+Z1i)*Z3cap(1,k))/(ZPcap(1,k)+Z1i+Z3cap(1,k));
ZRcap(1,k)=((ZQcap(1,k)+Z1i)*Z2cap(1,k))/(ZQcap(1,k)+Z1i+Z2cap(1,k));
ZScap(1,k)=((ZRcap(1,k)+Z1i)*Z1cap(1,k))/(ZRcap(1,k)+Z1i+Z1cap(1,k));
ZTcap(1,k)=ZScap(1,k)+ZFT;
% Calculo das tensoes e correntes em cada poste com insercao de capacitores
ITcapn(1,k)=Vth/ZTcap(1,k);
ITefcapn(1,k)=abs(ITcapn(1,k));
FIcapn(1,k)=angle(ITcapn(1,k))*180/pi;
V1capn(1,k)=ZScap(1,k)*ITcapn(1,k);
V1efcapn(1,k)=abs(V1capn(1,k));
I1capn(1,k)=V1capn(1,k)/Z1cap(1,k);
ILcapn(1,k)=ITcapn(1,k)-I1capn(1,k);
I1efcapn(1,k)=abs(ILcapn(1,k));
V2capn(1,k)=ZRcap(1,k)*ILcapn(1,k);
V2efcapn(1,k)=abs(V2capn(1,k));

```

```

I2capn(1,k)=V2capn(1,k)/Z2cap(1,k);
IKcapn(1,k)=ILcapn(1,k)-I2capn(1,k);
V3capn(1,k)=ZQcap(1,k)*IKcapn(1,k);
V3efcapn(1,k)=abs(V3capn(1,k));
I3capn(1,k)=V3capn(1,k)/Z3cap(1,k);
IJcapn(1,k)=IKcapn(1,k)-I3capn(1,k);
V4capn(1,k)=ZPcap(1,k)*IJcapn(1,k);
V4efcapn(1,k)=abs(V4capn(1,k));
I4capn(1,k)=V4capn(1,k)/Z4cap(1,k);
IIcapn(1,k)=IJcapn(1,k)-I4capn(1,k);
V5capn(1,k)=Z0cap(1,k)*IIcapn(1,k);
V5efcapn(1,k)=abs(V5capn(1,k));
I5capn(1,k)=V5capn(1,k)/Z5cap(1,k);
IHcapn(1,k)=IIcapn(1,k)-I5capn(1,k);
V6capn(1,k)=ZNcap(1,k)*IHcapn(1,k);
V6efcapn(1,k)=abs(V6capn(1,k));
I6capn(1,k)=V6capn(1,k)/Z6cap(1,k);
IGcapn(1,k)=IHcapn(1,k)-I6capn(1,k);
V7capn(1,k)=ZMcap(1,k)*IGcapn(1,k);
V7efcapn(1,k)=abs(V7capn(1,k));
I7capn(1,k)=V7capn(1,k)/Z7cap(1,k);
IFcapn(1,k)=IGcapn(1,k)-I7capn(1,k);
V8capn(1,k)=ZLcap(1,k)*IFcapn(1,k);
V8efcapn(1,k)=abs(V8capn(1,k));
I8capn(1,k)=V8capn(1,k)/Z8cap(1,k);
IEcapn(1,k)=IFcapn(1,k)-I8capn(1,k);
V9capn(1,k)=ZKcap(1,k)*IEcapn(1,k);
V9efcapn(1,k)=abs(V9capn(1,k));
I9capn(1,k)=V9capn(1,k)/Z9cap(1,k);
I10capn(1,k)=IEcapn(1,k)-I9capn(1,k);
V10capn(1,k)=Z10cap(1,k)*I10capn(1,k);
V10efcapn(1,k)=abs(V10capn(1,k));

```

```

% Matriz das tensões ampliada corrigida

```

```

VCn(1,1,k)=V1efcapn(1,k);
VCn(2,1,k)=V2efcapn(1,k);
VCn(3,1,k)=V3efcapn(1,k);
VCn(4,1,k)=V4efcapn(1,k);
VCn(5,1,k)=V5efcapn(1,k);
VCn(6,1,k)=V6efcapn(1,k);
VCn(7,1,k)=V7efcapn(1,k);
VCn(8,1,k)=V8efcapn(1,k);
VCn(9,1,k)=V9efcapn(1,k);
VCn(10,1,k)=V10efcapn(1,k);

```

```

% Calculo das impedancias do sistema de distribuicao sem insercao de
% capacitores para a harmonica de ordem h

```

```

Zmhh=(Rm*j*2*pi*h*f*Lm)/((Rm+j*2*pi*h*f*Lm)*(Zb));
Zfhh=(Rf+j*(2*pi*h*f*Lf))/Zb;
Z1thh=R1t+j*(L1t*h);
Z2thh=R2t+j*(L2t*h);
Vthhh=Vf*(Zmhh/(Zfhh+Z1thh+Zmhh));
ZFThh=((Zfhh+Z1thh)*Zmhh)/(Zfhh+Z1thh+Zmhh)+Z2thh;
Zlihh=(Rli+j*(2*pi*h*f*Lli))/Zb;
Zlihh2=(Rli2+j*(2*pi*h*f*Lli2))/Zb;
Z1hh(1,k)=(((127^2/(P1(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q1(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P1(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q1(1,k)*Zb)))));
Z1hh(1,k)=Z1hh(1,k);
Z2hh(1,k)=(((127^2/(P2(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q2(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P2(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q2(1,k)*Zb)))));

```

```

Z3hh(1,k)=(((127^2/(P3(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q3(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P3(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q3(1,k)*Zb)))));
Z4hh(1,k)=(((127^2/(P4(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q4(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P4(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q4(1,k)*Zb)))));
Z5hh(1,k)=(((127^2/(P5(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P5(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q5(1,k)*Zb)))));
Z6hh(1,k)=(((127^2/(P6(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P6(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q6(1,k)*Zb)))));
Z7hh(1,k)=(((127^2/(P7(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P7(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q7(1,k)*Zb)))));
Z8hh(1,k)=(((127^2/(P8(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P8(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q8(1,k)*Zb)))));
Z9hh(1,k)=(((127^2/(P9(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q9(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P9(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q9(1,k)*Zb)))));
Z10hh(1,k)=(((127^2/(P10(1,k)*Zb))*j*h*(127^2/(Q10(1,k)*Zb)))/(((127^2/(P10(1,k)*Zb))+j*h*(127^2/(Q10(1,k)*Zb)))));

```

```

if nposte==9
    Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==8
    Z9hh(1,k)=1e+10;
    Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==7
    Z8hh(1,k)=1e+10;
    Z9hh(1,k)=1e+10;
    Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==6
    Z7hh(1,k)=1e+10;
    Z8hh(1,k)=1e+10;
    Z9hh(1,k)=1e+10;
    Z10hh(1,k)=1e+10;
elseif nposte==5
    Z6hh(1,k)=1e+10;
    Z7hh(1,k)=1e+10;
    Z8hh(1,k)=1e+10;
    Z9hh(1,k)=1e+10;
    Z10hh(1,k)=1e+10;
end
ZAh=(Zfhh+Z1thh)*Zmhh/(Zfhh+Z1thh+Zmhh);
ZBhh(1,k)=(ZAh+Z2thh)*Z1hh(1,k)/(ZAh+Z2thh+Z1hh(1,k));
ZChh(1,k)=(ZBhh(1,k)+Z1ihh)*Z2hh(1,k)/(ZBhh(1,k)+Z1ihh+Z2hh(1,k));
ZDhh(1,k)=(ZChh(1,k)+Z1ihh)*Z3hh(1,k)/(ZChh(1,k)+Z1ihh+Z3hh(1,k));
ZEhh(1,k)=(ZDhh(1,k)+Z1ihh)*Z4hh(1,k)/(ZDhh(1,k)+Z1ihh+Z4hh(1,k));
ZFhh(1,k)=(ZEhh(1,k)+Z1ihh)*Z5hh(1,k)/(ZEhh(1,k)+Z1ihh+Z5hh(1,k));
ZGhh(1,k)=(ZFhh(1,k)+Z1ihh2)*Z6hh(1,k)/(ZFhh(1,k)+Z1ihh2+Z6hh(1,k));
ZHhh(1,k)=(ZGhh(1,k)+Z1ihh2)*Z7hh(1,k)/(ZGhh(1,k)+Z1ihh2+Z7hh(1,k));
ZIhh(1,k)=(ZHhh(1,k)+Z1ihh2)*Z8hh(1,k)/(ZHhh(1,k)+Z1ihh2+Z8hh(1,k));
ZJhh(1,k)=(ZIhh(1,k)+Z1ihh2)*Z9hh(1,k)/(ZIhh(1,k)+Z1ihh2+Z9hh(1,k));
ZKhh(1,k)=(Z10hh(1,k)+Z1ihh2)*Z9hh(1,k)/(Z10hh(1,k)+Z1ihh2+Z9hh(1,k));
ZLhh(1,k)=(ZKhh(1,k)+Z1ihh2)*Z8hh(1,k)/(ZKhh(1,k)+Z1ihh2+Z8hh(1,k));
ZMhh(1,k)=(ZLhh(1,k)+Z1ihh2)*Z7hh(1,k)/(ZLhh(1,k)+Z1ihh2+Z7hh(1,k));
ZNhh(1,k)=(ZMhh(1,k)+Z1ihh2)*Z6hh(1,k)/(ZMhh(1,k)+Z1ihh2+Z6hh(1,k));
ZOhh(1,k)=(ZNhh(1,k)+Z1ihh2)*Z5hh(1,k)/(ZNhh(1,k)+Z1ihh2+Z5hh(1,k));
ZPhh(1,k)=(ZOhh(1,k)+Z1ihh)*Z4hh(1,k)/(ZOhh(1,k)+Z1ihh+Z4hh(1,k));
ZQhh(1,k)=(ZPhh(1,k)+Z1ihh)*Z3hh(1,k)/(ZPhh(1,k)+Z1ihh+Z3hh(1,k));
ZRhh(1,k)=(ZQhh(1,k)+Z1ihh)*Z2hh(1,k)/(ZQhh(1,k)+Z1ihh+Z2hh(1,k));
ZShh(1,k)=(ZRhh(1,k)+Z1ihh)*Z1hh(1,k)/(ZRhh(1,k)+Z1ihh+Z1hh(1,k));
ZThh(1,k)=ZShh(1,k)+ZFThh;

```

% Calculo das tensoes e correntes em cada poste sem inserção de capacitores

```

IThh(1,k)=Vthhh/ZThh(1,k);
ITefhh(1,k)=abs(IThh(1,k));
FIhh(1,k)=angle(IThh(1,k))*180/pi;
V1hh(1,k)=ZShh(1,k)*IThh(1,k);
V1efhhn(1,k)=abs(V1hh(1,k));
I1hh(1,k)=V1hh(1,k)/Z1hh(1,k);
ILhh(1,k)=IThh(1,k)-I1hh(1,k);
ILefhh(1,k)=abs(ILhh(1,k));
V2hh(1,k)=ZRhh(1,k)*ILhh(1,k);
V2efhhn(1,k)=abs(V2hh(1,k));
I2hh(1,k)=V2hh(1,k)/Z2hh(1,k);
IKhh(1,k)=ILhh(1,k)-I2hh(1,k);
V3hh(1,k)=ZQhh(1,k)*IKhh(1,k);
V3efhhn(1,k)=abs(V3hh(1,k));
I3hh(1,k)=V3hh(1,k)/Z3hh(1,k);
IJhh(1,k)=IKhh(1,k)-I3hh(1,k);
V4hh(1,k)=ZPhh(1,k)*IJhh(1,k);
V4efhhn(1,k)=abs(V4hh(1,k));
I4hh(1,k)=V4hh(1,k)/Z4hh(1,k);
IIhh(1,k)=IJhh(1,k)-I4hh(1,k);
V5hh(1,k)=ZOhh(1,k)*IIhh(1,k);
V5efhhn(1,k)=abs(V5hh(1,k));
I5hh(1,k)=V5hh(1,k)/Z5hh(1,k);
IHhh(1,k)=IIhh(1,k)-I5hh(1,k);
V6hh(1,k)=ZNhh(1,k)*IHhh(1,k);
V6efhhn(1,k)=abs(V6hh(1,k));
I6hh(1,k)=V6hh(1,k)/Z6hh(1,k);
IGhh(1,k)=IHhh(1,k)-I6hh(1,k);
V7hh(1,k)=ZMhh(1,k)*IGhh(1,k);
V7efhhn(1,k)=abs(V7hh(1,k));
I7hh(1,k)=V7hh(1,k)/Z7hh(1,k);
IFhh(1,k)=IGhh(1,k)-I7hh(1,k);
V8hh(1,k)=ZLhh(1,k)*IFhh(1,k);
V8efhhn(1,k)=abs(V8hh(1,k));
I8hh(1,k)=V8hh(1,k)/Z8hh(1,k);
IEhh(1,k)=IFhh(1,k)-I8hh(1,k);
V9hh(1,k)=ZKhh(1,k)*IEhh(1,k);
V9efhhn(1,k)=abs(V9hh(1,k));
I9hh(1,k)=V9hh(1,k)/Z9hh(1,k);
I10hh(1,k)=IEhh(1,k)-I9hh(1,k);
V10hh(1,k)=Z10hh(1,k)*I10hh(1,k);
V10efhhn(1,k)=abs(V10hh(1,k));

% Matriz das tensões considerando os harmonicos
Vhn(1,1,k)=V1efhhn(1,k);
Vhn(2,1,k)=V2efhhn(1,k);
Vhn(3,1,k)=V3efhhn(1,k);
Vhn(4,1,k)=V4efhhn(1,k);
Vhn(5,1,k)=V5efhhn(1,k);
Vhn(6,1,k)=V6efhhn(1,k);
Vhn(7,1,k)=V7efhhn(1,k);
Vhn(8,1,k)=V8efhhn(1,k);
Vhn(9,1,k)=V9efhhn(1,k);
Vhn(10,1,k)=V10efhhn(1,k);

```

```

% Calculo da impedancia harmonica do banco de capacitores para corrigir a
tensao eficaz
% Calculo da impedancia harmonica do banco de capacitores para corrigir a
tensao eficaz

```

```

A(1,k)=real(ZG(1,k));
B(1,k)=imag(ZG(1,k));
D(1,k)=(-2*B(1,k))^2+ 4*((A(1,k)^2+B(1,k)^2-1)*(A(1,k)^2+B(1,k)^2));
if Cap(1,k)<1e-9
    Lfiltro(1,k)=0;
    Lfiltro2(1,k)=0;
else
    Lfiltro(1,k)=[2*B(1,k)+(D(1,k))^(1/2)]/[2*2*pi*f*(A(1,k)^2+B(1,k)^2-1)]
+ 1/((2*pi*f)^2*Cap2(1,k));
    Lfiltro2(1,k)=[2*B(1,k)-(D(1,k))^(1/2)]/[2*2*pi*f*(A(1,k)^2+B(1,k)^2-
1)] + 1/((2*pi*f)^2*Cap2(1,k));
end

if corre==1
Xcorrehh=(2*pi*h*f*Lfiltro(1,k)/Zb);
else
    Xcorrehh=0;
end

if nposte==5
    Z6caphh(1,k)=Z6hh(1,k);
    Z7caphh(1,k)=Z7hh(1,k);
    Z8caphh(1,k)=Z8hh(1,k);
    Z9caphh(1,k)=Z9hh(1,k);
    Z10caphh(1,k)=Z10hh(1,k);
    Xcaphh(1,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap2(1,k)))/Zb;
    Zcaphh(1,k)=j*(Xcaphh(1,k)+Xcorrehh);
    Z5caphh(1,k)=Z5hh(1,k)*Zcaphh(1,k)/(Z5hh(1,k)+Zcaphh(1,k));
elseif nposte==6
    Z5caphh(1,k)=Z5hh(1,k);
    Z7caphh(1,k)=Z7hh(1,k);
    Z8caphh(1,k)=Z8hh(1,k);
    Z9caphh(1,k)=Z9hh(1,k);
    Z10caphh(1,k)=Z10hh(1,k);
    Xcaphh(1,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap2(1,k)))/Zb;
    Zcaphh(1,k)=j*(Xcaphh(1,k)+Xcorrehh);
    Z6caphh(1,k)=Z6hh(1,k)*Zcaphh(1,k)/(Z6hh(1,k)+Zcaphh(1,k));
elseif nposte==7
    Z5caphh(1,k)=Z5hh(1,k);
    Z6caphh(1,k)=Z6hh(1,k);
    Z8caphh(1,k)=Z8hh(1,k);
    Z9caphh(1,k)=Z9hh(1,k);
    Z10caphh(1,k)=Z10hh(1,k);
    Xcaphh(1,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap2(1,k)))/Zb;
    Zcaphh(1,k)=j*(Xcaphh(1,k)+Xcorrehh);
    Z7caphh(1,k)=Z7hh(1,k)*Zcaphh(1,k)/(Z7hh(1,k)+Zcaphh(1,k));
elseif nposte==8
    Z5caphh(1,k)=Z5hh(1,k);
    Z6caphh(1,k)=Z6hh(1,k);
    Z7caphh(1,k)=Z7hh(1,k);
    Z9caphh(1,k)=Z9hh(1,k);
    Z10caphh(1,k)=Z10hh(1,k);
    Xcaphh(1,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap2(1,k)))/Zb;
    Zcaphh(1,k)=j*(Xcaphh(1,k)+Xcorrehh);
    Z8caphh(1,k)=Z8hh(1,k)*Zcaphh(1,k)/(Z8hh(1,k)+Zcaphh(1,k));
elseif nposte==9
    Z5caphh(1,k)=Z5hh(1,k);
    Z6caphh(1,k)=Z6hh(1,k);
    Z7caphh(1,k)=Z7hh(1,k);
    Z8caphh(1,k)=Z8hh(1,k);

```



```

Z10caphh(1,k)=Z10hh(1,k);
Xcaphh(1,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap2(1,k)))/Zb;
Zcaphh(1,k)=j*(Xcaphh(1,k)+Xcorrehh);
Z9caphh(1,k)=Z9hh(1,k)*Zcaphh(1,k)/(Z9hh(1,k)+Zcaphh(1,k));
else
    Z5caphh(1,k)=Z5hh(1,k);
    Z6caphh(1,k)=Z6hh(1,k);
    Z7caphh(1,k)=Z7hh(1,k);
    Z8caphh(1,k)=Z8hh(1,k);
    Z9caphh(1,k)=Z9hh(1,k);
    Xcaphh(1,k)=-(1/(2*pi*h*f*Cap2(1,k)))/Zb;
    Zcaphh(1,k)=j*(Xcaphh(1,k)+Xcorrehh);
    Z10caphh(1,k)=Z10hh(1,k)*Zcaphh(1,k)/(Z10hh(1,k)+Zcaphh(1,k));
end
% Calculo das impedancias do sistema de distribuicao com insercao de
% capacitores e harmonica de ordem h
ZFcaphh(1,k)=( (ZEhh(1,k)+Zlihh)*Z5caphh(1,k) ) / (ZEhh(1,k)+Zlihh+Z5caphh(1,k)
);
ZGcaphh(1,k)=( (ZFcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z6caphh(1,k) ) / (ZFcaphh(1,k)+Zlihh+Z6ca
hh(1,k) );
ZHcaphh(1,k)=( (ZGcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z7caphh(1,k) ) / (ZGcaphh(1,k)+Zlihh2+Z7ca
phh(1,k) );
ZIcaphh(1,k)=( (ZHcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z8caphh(1,k) ) / (ZHcaphh(1,k)+Zlihh2+Z8ca
phh(1,k) );
ZJcaphh(1,k)=( (ZIcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z9caphh(1,k) ) / (ZIcaphh(1,k)+Zlihh2+Z9ca
phh(1,k) );
ZKcaphh(1,k)=( (Z10caphh(1,k)+Zlihh2)*Z9caphh(1,k) ) / (Z10caphh(1,k)+Zlihh2+Z9
caphh(1,k) );
ZLcaphh(1,k)=( (ZKcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z8caphh(1,k) ) / (ZKcaphh(1,k)+Zlihh2+Z8ca
phh(1,k) );
ZMcaphh(1,k)=( (ZLcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z7caphh(1,k) ) / (ZLcaphh(1,k)+Zlihh2+Z7ca
phh(1,k) );
ZNcaphh(1,k)=( (ZMcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z6caphh(1,k) ) / (ZMcaphh(1,k)+Zlihh2+Z6ca
phh(1,k) );
ZOcaphh(1,k)=( (ZNcaphh(1,k)+Zlihh2)*Z5caphh(1,k) ) / (ZNcaphh(1,k)+Zlihh2+Z5ca
phh(1,k) );
ZPcaphh(1,k)=( (ZOcaphh(1,k)+Zlihh)*Z4hh(1,k) ) / (ZOcaphh(1,k)+Zlihh+Z4hh(1,k)
);
ZQcaphh(1,k)=( (ZPcaphh(1,k)+Zlihh)*Z3hh(1,k) ) / (ZPcaphh(1,k)+Zlihh+Z3hh(1,k)
);
ZRcaphh(1,k)=( (ZQcaphh(1,k)+Zlihh)*Z2hh(1,k) ) / (ZQcaphh(1,k)+Zlihh+Z2hh(1,k)
);
ZScaphh(1,k)=( (ZRcaphh(1,k)+Zlihh)*Z1hh(1,k) ) / (ZRcaphh(1,k)+Zlihh+Z1hh(1,k)
);
ZTcaphh(1,k)=ZScaphh(1,k)+ZFTthh;

% Calculo das tensoes e correntes em cada poste com insercao de capacitores
e harmonica de ordem h

ITcaphh(1,k)=Vthhh/ZTcaphh(1,k);
ITefcaphh(1,k)=abs(ITcaphh(1,k));
FIcaphh(1,k)=angle(ITcaphh(1,k))*180/pi;
V1caphh(1,k)=ZScaphh(1,k)*ITcaphh(1,k);
V1efcaphhn(1,k)=abs(V1caphh(1,k));
I1caphh(1,k)=V1caphh(1,k)/Z1hh(1,k);
ILcaphh(1,k)=ITcaphh(1,k)-I1caphh(1,k);
I1efcaphh(1,k)=abs(ILcaphh(1,k));
V2caphh(1,k)=ZRcaphh(1,k)*ILcaphh(1,k);
V2efcaphhn(1,k)=abs(V2caphh(1,k));
I2caphh(1,k)=V2caphh(1,k)/Z2hh(1,k);
IKcaphh(1,k)=ILcaphh(1,k)-I2caphh(1,k);

```

```

V3caphh(1,k)=ZQcaphh(1,k)*IKcaphh(1,k);
V3efcaphhn(1,k)=abs(V3caphh(1,k));
I3caphh(1,k)=V3caphh(1,k)/Z3hh(1,k);
IJcaphh(1,k)=IKcaphh(1,k)-I3caphh(1,k);
V4caphh(1,k)=ZPcaphh(1,k)*IJcaphh(1,k);
V4efcaphhn(1,k)=abs(V4caphh(1,k));
I4caphh(1,k)=V4caphh(1,k)/Z4hh(1,k);
IIcaphh(1,k)=IJcaphh(1,k)-I4caphh(1,k);
V5caphh(1,k)=ZOcaphh(1,k)*IIcaphh(1,k);
V5efcaphhn(1,k)=abs(V5caphh(1,k));
I5caphh(1,k)=V5caphh(1,k)/Z5caphh(1,k);
IHcaphh(1,k)=IIcaphh(1,k)-I5caphh(1,k);
V6caphh(1,k)=ZMcaphh(1,k)*IHcaphh(1,k);
V6efcaphhn(1,k)=abs(V6caphh(1,k));
I6caphh(1,k)=V6caphh(1,k)/Z6caphh(1,k);
IGcaphh(1,k)=IHcaphh(1,k)-I6caphh(1,k);
V7caphh(1,k)=ZMcaphh(1,k)*IGcaphh(1,k);
V7efcaphhn(1,k)=abs(V7caphh(1,k));
I7caphh(1,k)=V7caphh(1,k)/Z7caphh(1,k);
IFcaphh(1,k)=IGcaphh(1,k)-I7caphh(1,k);
V8caphh(1,k)=ZLcaphh(1,k)*IFcaphh(1,k);
V8efcaphhn(1,k)=abs(V8caphh(1,k));
I8caphh(1,k)=V8caphh(1,k)/Z8caphh(1,k);
IEcaphh(1,k)=IFcaphh(1,k)-I8caphh(1,k);
V9caphh(1,k)=ZKcaphh(1,k)*IEcaphh(1,k);
V9efcaphhn(1,k)=abs(V9caphh(1,k));
I9caphh(1,k)=V9caphh(1,k)/Z9caphh(1,k);
I10caphh(1,k)=IEcaphh(1,k)-I9caphh(1,k);
V10caphh(1,k)=Z10caphh(1,k)*I10caphh(1,k);
V10efcaphhn(1,k)=abs(V10caphh(1,k));

```

```

Vhhn(1,1,k)=V1efcaphhn(1,k);
Vhhn(2,1,k)=V2efcaphhn(1,k);
Vhhn(3,1,k)=V3efcaphhn(1,k);
Vhhn(4,1,k)=V4efcaphhn(1,k);
Vhhn(5,1,k)=V5efcaphhn(1,k);
Vhhn(6,1,k)=V6efcaphhn(1,k);
Vhhn(7,1,k)=V7efcaphhn(1,k);
Vhhn(8,1,k)=V8efcaphhn(1,k);
Vhhn(9,1,k)=V9efcaphhn(1,k);
Vhhn(10,1,k)=V10efcaphhn(1,k);

```

```

end
end
end

```

## APÊNDICE 2 – MÉTODO PARA VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Para visualização dos resultados devemos solicitar a plotagem considerando: `plot(np,VARIÁVEL(np,x,y),'color line')`, sendo:

- np – número de postes (não se atribui valores);
- Variável – A visualização desejada;
- y corresponde à posição de potência aparente sendo de [1, 2, 3... 12] correspondendo à [0.0001; 0.15; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0; 1.1 ;1.15];
- y corresponde à posição de fator de potência sendo de [1, 2, 3 ... 12] correspondendo à FP=[0.77; 0.79; 0.81; 0.83; 0.85; 0.87; 0.89; 0.91; 0.93; 0.95; 0.97; 0.99];
- Colorline – Corresponde a cor da linha, sendo que:

b – azul;

g – verde

r – vermelha

c – azul claro

m – rosa escuro

y – amarelo

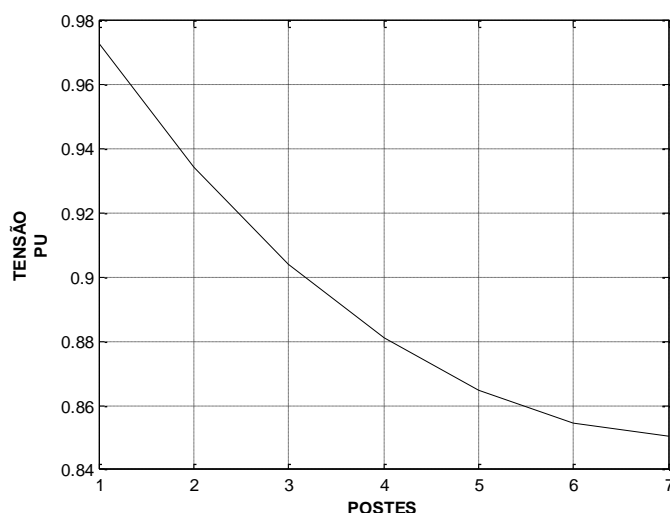
k – preto

--b – azul tracejado;

--k – preto tracejado.

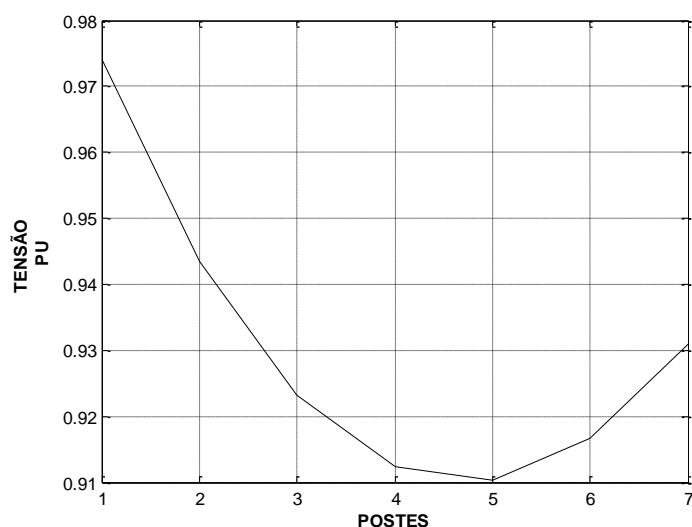
Serão apresentadas visualizações para um valor base de 137  $\mu\text{F}$ , aplicando um total de 1233  $\mu\text{F}$  para correção de tensão, tendo como valor de comparação para correção de tensão 0,935 pu.

Para plotar a tensão fundamental para 7 postes, fator de potência de 0,87 e potência nominal (1,0 pu) na cor preta, utilizar: `plot(np,V(np,10,6),'k')`; o resultado pode ser visto na figura A2.1



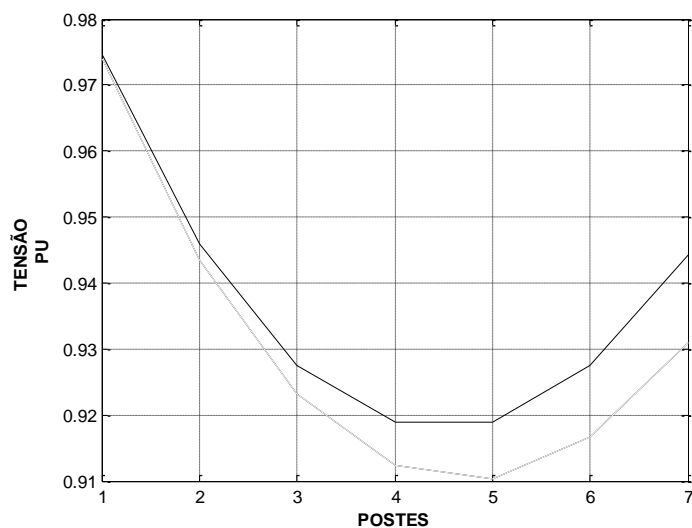
**Fig. A2.1 – Perfil de Tensão ao longo de 7 postes para 1,0 pu de potência e  $fp = 0,87$ , sem inserção de capacitores.**

Para plotar a tensão fundamental corrigida para 7 postes, fator de potência de 0,87 e potência (1,15 pu) na cor preta, utilizar: `plot(np,VC(np,12,6),'k')`; o resultado é o da figura A2.2



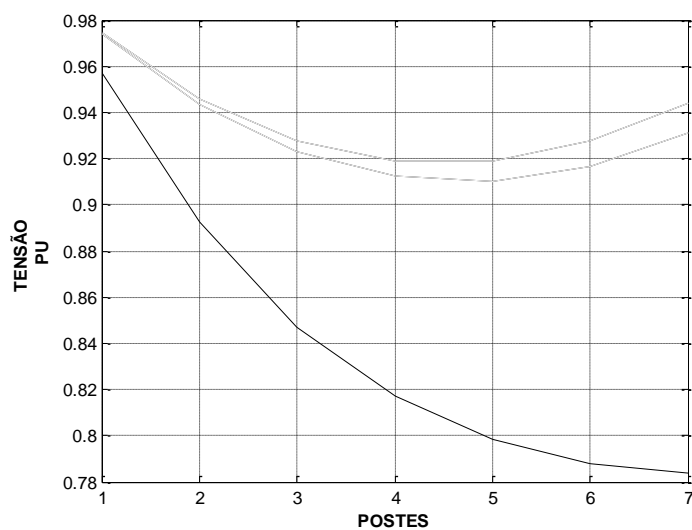
**Fig. A2.2 – Perfil de tensão ao longo de 7 postes para 1,0 pu de potência e  $fp = 0,87$ , com inserção de capacitores.**

Para plotar a tensão fundamental corrigida e vistoriada após a análise da inserção de capacitores acompanhando a tensão no último poste e ser feita uma verificação da tensão em todo o alimentador, caso mais reativos tiverem sido inseridos, 7 postes, fator de potência de 0,87 e potência (1,0 pu) na cor preta, utilizar: `plot(np,VCn(np,12,6),'k')`; e o resultado é visto na figura A2.3.



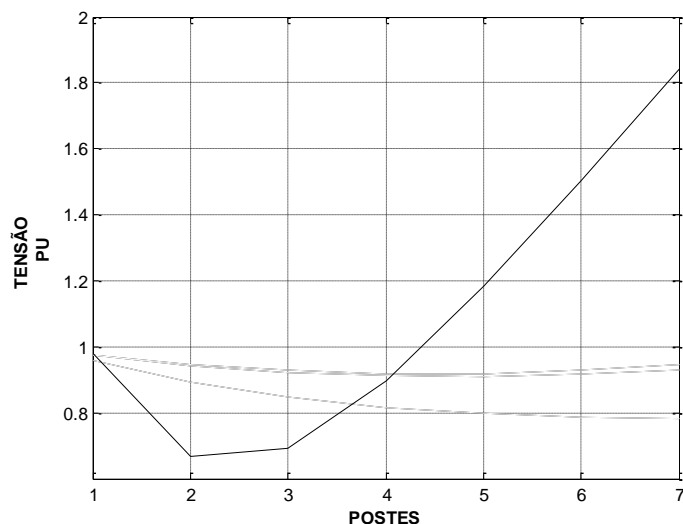
**Fig. A2.3 – Perfil de tensão com inserção de banco de capacitores extra após correção inicial ao longo de 7 postes para 1,0 pu de potência e  $fp = 0,87$ .**

Para plotar a tensão de terceiro harmônico para 7 postes, fator de potência de 0,89 e potência nominal (1,0 pu) na cor preta, utilizar: `plot(np,Vh(np,10,7),'k')`; e o resultado é visto na figura A2.4



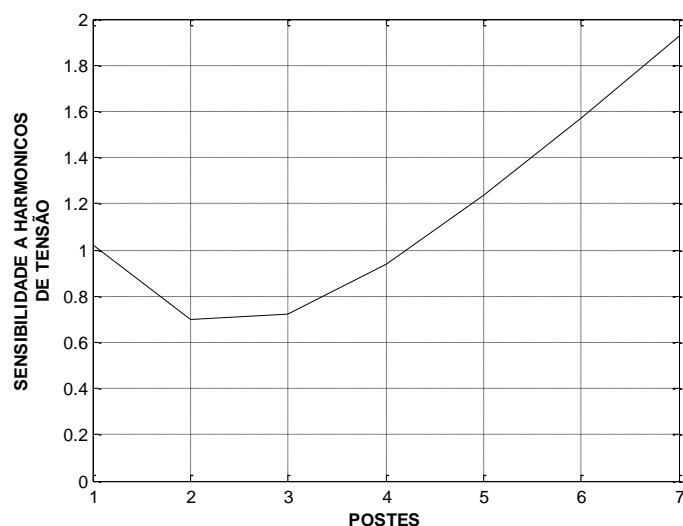
**Fig. A2.4 – Tensão de terceiro harmônico para carga 1,0 pu de potência e  $fp = 0,89$  ao longo de 7 postes, sem inserção de capacitores.**

Para plotar a tensão harmônica corrigida para 7 postes, fator de potência de 0,89 e potência nominal (1,0 pu) na cor preta, utilizar: `plot(np,Vhh(np,10,7),'k')`; e o resultado é visto na figura A2.5



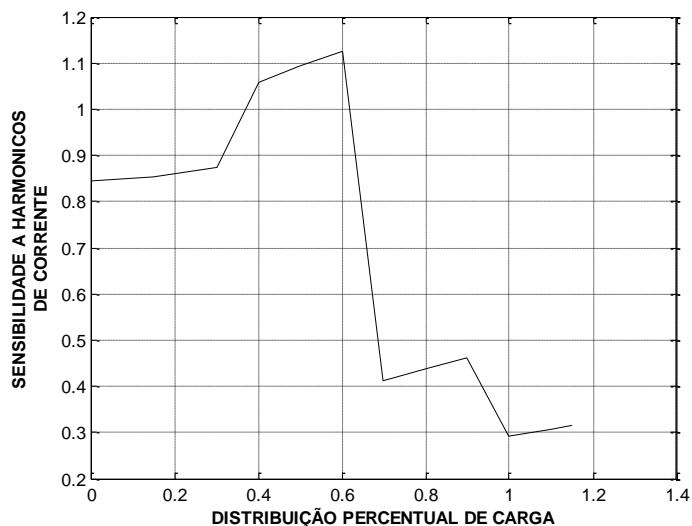
**Fig. A2.5 – Tensão de terceiro harmônico para carga 1,0 pu de potência e  $fp = 0,89$  ao longo de 7 postes, com inserção de capacitores.**

Para plotar a sensibilidade a harmônicos de tensão para 7 postes, fator de potência de 0,89 e potência nominal (1,0 pu) na cor preta, utilizar: `plot (np,Vhh(np,10,7)/ Vh(np,10,7),'k')`; e o resultado é visto na figura A2.6



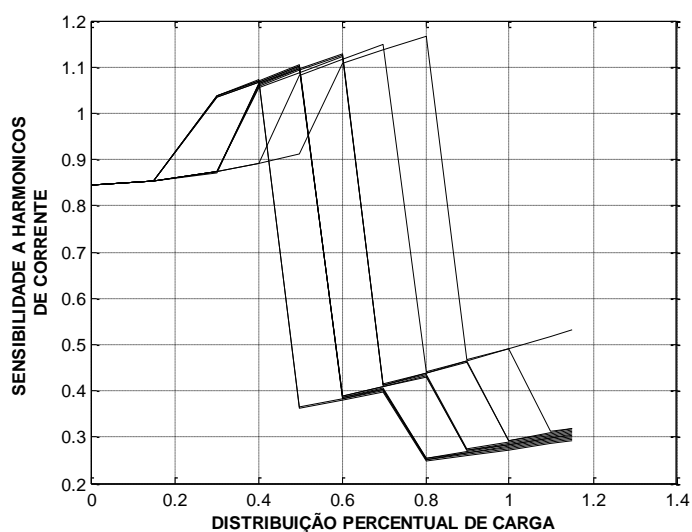
**Fig. A2.6 – Sensibilidade a harmônicos de tensão carga para carga 1,0 pu de potência e  $fp = 0,89$  ao longo de 7 postes.**

Para plotar a sensibilidade a harmônicos de correntes de carga no poste 7, para variação de potência e fator de potência de 0,93 na cor preta, utilizar: `plot(Sdem,relZp7(:,9),'b')`; e o resultado é visto na figura A2.7



**Fig. A2.7 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para o poste 7 e Fator de Potência de 0,93.**

Para plotar a sensibilidade a harmônicos de correntes de carga no poste 7, para todas as possibilidades de variação de potência e fator de potência na cor preta, utilizar: `plot(Sdem,relZp7(:,:),'b')`; e o resultado é visto na figura A2.8



**Fig. A2.8 – Análise da sensibilidade a harmônicos de corrente de carga para o poste 7.**

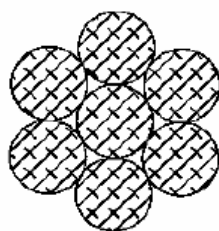
# ANEXO 1 – DADOS TÉCNICOS DE CABOS DE ALMA DE AÇO



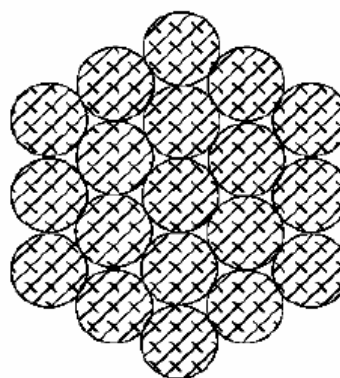
COPEL

CABO DE ALUMÍNIO  
Tipo CA

NTC810552/58



7 FIOS



19 FIOS

TABELA 1

NTC	Código COPEL	Escala AWG/M CM	Referência Comercial (Código)	Seção Nominal (mm <sup>2</sup> )	Formação		CONDUTOR COMPLETO					
					Nº de fios	Diâmetro nominal dos fios (mm)	Diâmetro nominal "D" (mm)	Massa nominal (kg/km)	Carga de ruptura mínima (daN)	Raio médio geométrico a 60 Hz (*) "G"	Resistência a 20°C 60 Hz máxima (Ω/km)	(*) (A)
0552	301221-2	4	ROSE	21,12	7	1,96	5,88	57,8	369	2,13	1,356	114
0553	301222-0	2	IRIS	33,54		2,47	7,41	91,8	564	2,69	0,8535	152
0555	301224-7	2/0	ASTER	67,35		3,50	10,50	184,4	1049	3,81	0,4251	235
0556	301225-5	4/0	OXLIP	107,41		4,42	13,26	294,1	1622	4,81	0,2665	314
0558	301227-1	336,4	TULIP	170,48	19	3,38	16,90	469,1	2656	6,40	0,1687	419
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

(\*) - Capacidade aproximada de condução de corrente (A) - condutor a 75°C - 60Hz  
- temperatura ambiente 40°C - vento 2.2km/h.

**OBS.:** 1. Os valores das colunas 11 e 13 são para as condições da NBR 7271/82.  
2. Os valores de reatância do cabo são determinados pelas seguintes expressões:

2.1 Reatância indutiva ( $X_L$ ) em Ω/km.

$$X_L = 0.1736 \log_{10} (Deq/G)$$

2.2 Reatância capacitiva ( $X_C$ ) em MΩ/km.

$$X_C = 0.0424 \log_{10} (2.Deq/D)$$

onde:  $Deq = d_{12} \times d_{23} \times d_{31}$  distância equivalente entre os condutores, em milímetros.

G = coluna 11

D = coluna 8

$d_{12}$ ,  $d_{23}$  e  $d_{31}$  são as distâncias entre fases (3φ)



# ANEXO 2 - DADOS TÉCNICOS DE CABOS MULTIPLEXADOS

TABELA 5

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DIMENSIONAIS DOS CABOS MULTIPLEXADOS  
CA/CAL – ISOLAÇÃO XLPE 90<sup>0</sup> C – 0,6/1 kV

CABO FASE x NEUTRO (CA) x (CAL)	CONDUTOR FASE			MENSAGEIRO (NEUTRO)			CABO COMPLETO	
	DIÂMETRO DO CONDUTOR	ESPESSURA DA ISOLAÇÃO	DIÂMETRO DO CONDUTOR ISOLADO	Nº DE FIOS X DIÂMETR O	DIÂMETRO DO MENSAGEIRO	CARGA DE RUPTURA	DIÂMETR O EXTERNO	PESO
mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	daN	mm	kg/km
2 x 1 x 35 + 35	7,10	1,60	10,30	7 x 2,50	7,50	1.080	28	370
2 x 1 x 70 + 70	9,85	1,80	13,50	19 x 2,12	10,60	2.060	37	685
3 x 1 x 35 + 35	7,10	1,60	10,30	7 x 2,50	7,50	1.080	28	510
3 x 1 x 70 + 70	9,85	1,80	13,50	19 x 2,12	10,60	2.060	38	900
3 x 1 x 120 + 70	12,86	2,00	16,90	19 x 2,12	10,60	2.060	44,5	1.400

TABELA 6

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS CABOS MULTIPLEXADOS  
CA/CAL – ISOLAÇÃO XLPE 90<sup>0</sup> C – 0,6/1 kV

CABO FASE x NEUTRO (CA) x (CAL)	REATÂNCIA INDUTIVA (XLf)	CONDUTOR FASE		MENSAGEIRO		
		CORRENTE ADMISSÍVEL		RESISTÊNCIA ELÉTRICA	CORRENTE ADMISSÍVEL	RESISTÊNCIA ELÉTRICA
mm <sup>2</sup>	Ω / km	TEMP. AMB. (°C)	A	Ω / km	A	Ω / km
2 x 1 x 35 + 35	0,097	30	146	1,113	110	1,251
		40	129			
2 x 1 x 70 + 70	0,091	30	227	0,571	200	0,632
		40	192			
3 x 1 x 35 + 35	0,106	30	146	1,113	110	1,251
		40	129			
3 x 1 x 70 + 70	0,097	30	227	0,571	200	0,632
		40	192			
3 x 1 x 120 + 70	0,092	30	311	0,341	200	0,632
		40	262			